INAF

Istituto Nazionale di Astrofisica

Osservatorio Astronomico di Capodimonte

Dipartimento di Public OutReach

"Guida alle osservazioni del cielo"

Massimo Brescia

INDICE

INDICE FIGURE

INDICE TABELLE

1. Premessa

Astraiamoci per un attimo dall'idea di avere uno strumento astronomico a disposizione e partiamo da una semplice considerazione: siamo di notte, soli, lontano da fonti di rumore e di luci delle città. Ci troviamo da qualche parte sulla terra e guardiamo il cielo, un bel cielo sereno e stellato. Quello che vediamo ci trasmette sensazioni di meraviglia, di mistero e di fascino. Forse ci sentiamo piccoli di fronte all'universo che ci circonda, ma al tempo stesso ci sentiamo parte integrante di questo immenso spettacolo.

Sarebbe bello sapere quali oggetti stiamo osservando con il nostro telescopio naturale (l'occhio umano)…, dunque poniamoci la domanda: Come facciamo a riconoscere gli oggetti in cielo? Il capitolo 2 risponde a questa domanda, fondamentale per decidere cosa osservare con il nostro telescopio.

Ma, una volta individuati i target, come facciamo a puntare correttamente il nostro telescopio? Come facciamo a garantire le massime prestazioni ottiche del nostro strumento? Il capitolo 3 esplora le problematiche di acquisizione della necessaria esperienza osservativa, rispondendo a queste due domande.

Il quarto capitolo è invece dedicato alla conoscenza approfondita degli strumenti ottici e del telescopio che potremo usare praticamente per compiere le nostre osservazioni. Mentre al sistema di controllo software e hardware del puntamento automatico e della guida è dedicato l'ultimo capitolo.

2. Riconoscere gli oggetti celesti

Per poter riconoscere gli oggetti che osserviamo da una qualsiasi posizione sulla Terra, abbiamo bisogno dei classici punti di riferimento, sia relativamente alla nostra posizione sulla superficie terrestre, sia evidentemente rispetto alla posizione degli astri sulla volta celeste.

1.1. Orientarsi nel cielo – le coordinate terrestri

Tutti conosciamo le coordinate terrestri, cioè quella serie di linee immaginarie inventate dall'uomo per individuare con precisione un punto qualsiasi della superficie terrestre. Queste linee hanno come riferimento l'equatore ed i poli terrestri, ambedue riconoscibili grazie alla rotazione della Terra (una palla da biliardo che non ruota su se stessa non ha poli). I poli terrestri (Nord e Sud) sono quei due punti della superficie terrestre attraverso i quali passa un ipotetico asse di rotazione della Terra. L'equatore è il cerchio formato dalla superficie terrestre su di un piano, perpendicolare all'asse di rotazione, che passa per il centro della Terra. Da questi dati iniziali è stato molto semplice dividere la superficie terrestre in meridiani, (le linee che congiungono i due poli di un mappamondo) ed i paralleli (i cerchi, paralleli all'equatore, il cui diametro diminuisce avvicinandosi ai poli), tutti rigorosamente indicati in gradi, minuti e secondi di arco. È più semplice comprendere questo concetto partendo da questa premessa: in una sfera, il **cerchio massimo** è un cerchio immaginario sulla sua superficie, il cui centro coincide con il centro della sfera stessa.
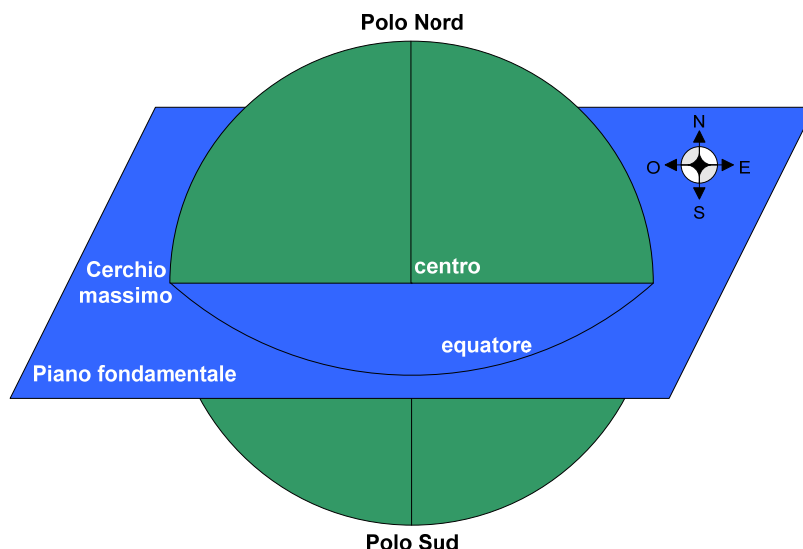
Fig. 1 – Poli ed equatore nel piano fondamentale

Consideriamo la Terra una sfera: uno dei **cerchi massimi**, quello definito da un piano (noto come **piano fondamentale**) passante per il centro e perpendicolare all'asse, è l'**equatore** (per definizione anche il cerchio immaginario intorno alla Terra è equidistante dai poli).
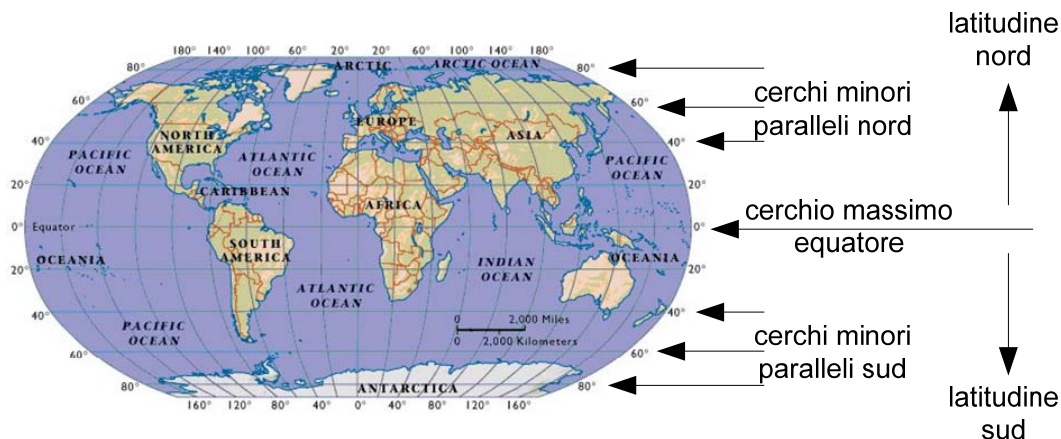
Fig. 2 – Cerchi di latitudine

L'equatore è il punto di partenza per definire se una località si trova nel mondo a Nord o a Sud. I **cerchi minori** definiti dai piani paralleli al piano fondamentale (e per definizione quelli **non** passanti per il centro), definiscono verso nord e verso sud, i **paralleli** di latitudine o, più brevemente la **latitudine**.
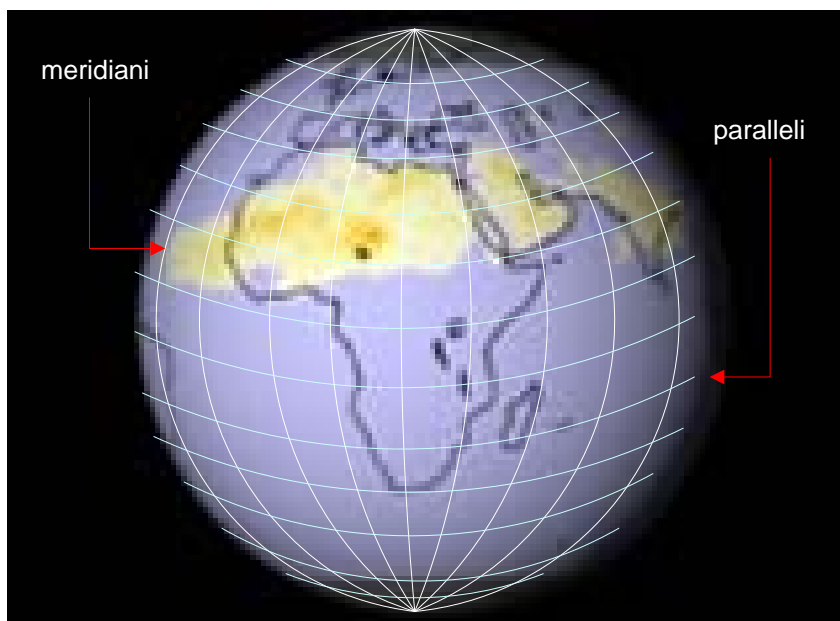
Fig. 3 – Meridiani e paralleli

La latitudine di un punto è data dall'angolo rilevato tra l'Equatore e il punto in esame. E' quindi un angolo giacente su un piano passante per l'asse di rotazione e per il punto considerato, il cui vertice si trova al centro della Terra. La latitudine viene espressa in gradi, minuti e secondi dell'arco sotteso dal centro della Terra partendo dall'equatore. L'OAC di Napoli per esempio, si trova ad una latitudine pari a 40°51'46.3" a nord dell'equatore. Prendiamo in considerazione adesso tutti i **cerchi massimi** passanti per i poli Nord e Sud e consideriamo solo i semicerchi da polo a polo : sono i **meridiani** o linee di longitudine. Possiamo definire un meridiano per ciascun punto della superficie terrestre. Il primo meridiano, o **meridiano origine**, (il punto di partenza per definire se il punto è ad Est o ad Ovest di un altro meridiano), passa, per convenzione, per l'antico Osservatorio reale di Greenwich in Inghilterra. Anche la **longitudine** si esprime in gradi, minuti e secondi d'arco, da 0° a 180° in direzione Est o Ovest dal primo meridiano che ha valore **0** e pertanto viene chiamato anche **Meridiano zero**. La longitudine è in pratica la distanza angolare, su di un piano giacente sul parallelo del punto considerato, tra il punto stesso ed il meridiano assunto come riferimento. E' quindi

un angolo giacente su un piano perpendicolare all'asse di rotazione, il cui vertice si trova sull'asse di rotazione. L'OAC di Napoli si trova ad una longitudine pari a 14°15'18.2" Est rispetto al meridiano zero.

Riassumendo quanto detto, possiamo constatare come sia possibile, identificare senza errore una qualunque località sulla superficie terrestre, conoscendone la latitudine e la longitudine. Se all'aeroporto incontro un amico, mentre sto faticando tra valige e borse, mi esprimerei in modo incomprensibile se, invece di dire che sono in partenza per Los Angeles in California, dicessi: "Sto andando a 34° latitudine Nord e 118° 20' di longitudine Ovest". Ugualmente, in caso di richiesta di aiuto perché la mia barca fa acqua, sarà molto più probabile ricevere soccorsi se, invece di dire che sono a sud di Los Angeles, comunico che mi trovo a 30° di latitudine Nord e 118 di longitudine Ovest.

1.2. Orientarsi nel cielo – le coordinate celesti

Introduciamo adesso il concetto di sfera celeste, un'idea concepita per dare al cielo un valido sistema di coordinate, analogamente a quanto fatto con le coordinate terrestri. La cosa più importante per capirle ed utilizzarle in modo razionale, dipende dalla nostra capacità di trattare il cielo, (la "volta" celeste), come se fosse una cupola al centro della quale ci troviamo noi e "solo noi", mentre altri, in altri paesi del globo, avranno la "loro" cupola, diversa dalla nostra.

Una volta raggiunto il posto di osservazione corichiamoci su una sdraio e cerchiamo sulla nostra cupola alcuni punti importanti. Cerchiamo prima di tutto la stella Polare e, una volta trovata, tracciamo una linea verticale immaginaria che congiunga questa stella con l'orizzonte, in questo modo sapremo che, dalla nostra postazione, il Nord si trova in direzione di quel monte, campanile, casetta od altro. Se siamo dotati di uno strumento possiamo facilmente puntare il soggetto trovato a Nord e, traguardando lo strumento dal lato opposto, trovare un particolare che si trova sull'orizzonte Sud. Questa è la direzione più importante per chi osserva il cielo (naturalmente dal nostro emisfero). Osservando verso Sud, ovviamente, troveremo alla sinistra l'Est (il lato da cui vediamo sorgere gli astri) e alla destra l'Ovest (dove tramontano). Rilevati i quattro punti cardinali, cerchiamo lo Zenit, cioè il centro della cupola, esattamente sopra la nostra testa, tracciando una linea (immaginaria!) che, partendo dal centro della Terra, attraversi il nostro corpo e raggiunga la volta celeste: ecco lo Zenit. Fatto questo, se tracciamo una linea che partendo dal punto dell'orizzonte trovato a Nord, vada all'orizzonte Sud, passando per lo Zenit, troviamo il **Meridiano Locale**. Ricordo a questo punto che tutti i dati e le linee che abbiamo trovato sino a questo momento si riferiscono alla posizione da noi occupata sulla superficie terrestre e sono dati utilizzabili esclusivamente da noi anche se sono linee tracciate sulla volta celeste.

1.2.1. Il sistema altazimutale

Si definisce *orizzonte astronomico* l'intersezione tra la sfera celeste e il piano tangente al globo terrestre (*piano orizzontale*) nel punto in cui si trova l'osservatore. L'orizzonte astronomico non coincide generalmente con l'*orizzonte sensibile*, che è la linea che separa il cielo dalla terra o dall'acqua. Se l'osservatore si trova in un luogo sopraelevato rispetto alle zone circostanti (Fig. 4), l'orizzonte sensibile è più basso dell'orizzonte astronomico e quindi si può vedere più di metà del cielo. Se invece è situato in una valle circondata da una catena montuosa (Fig. 5), l'orizzonte sensibile è costituito dalla linea delle creste delle montagne e perciò la parte più bassa della volta celeste non risulta visibile.

La distanza angolare di un punto dall'orizzonte astronomico (Fig. 6), misurata su un arco di *cerchio massimo* (cioè avente lo stesso diametro della sfera celeste) perpendicolare all'orizzonte stesso è detta *altezza*. Essa è indicata solitamente con H, il che però non deve trarre in inganno: l'altezza di cui stiamo parlando non è la lunghezza di un segmento, ma di un arco di circonferenza.
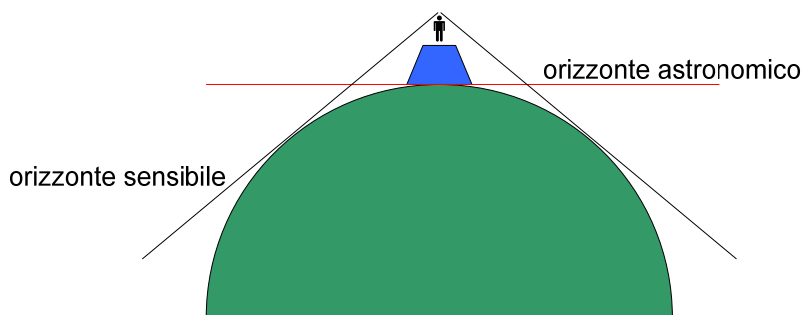
Fig. 4 – Orizzonte astronomico e sensibile in un sistema altazimutale
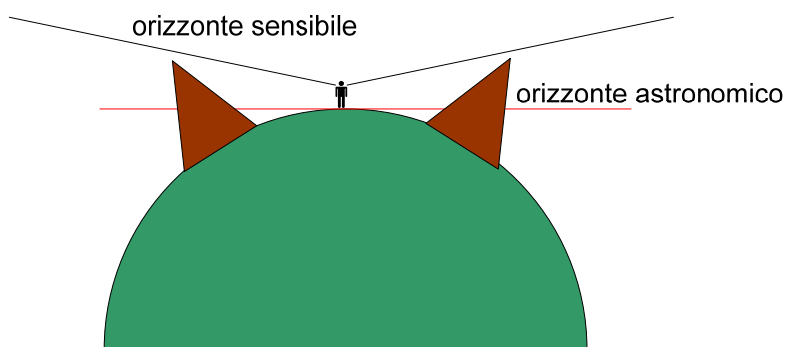
Fig. 5 – Limitazioni all'orizzonte astronomico e sensibile
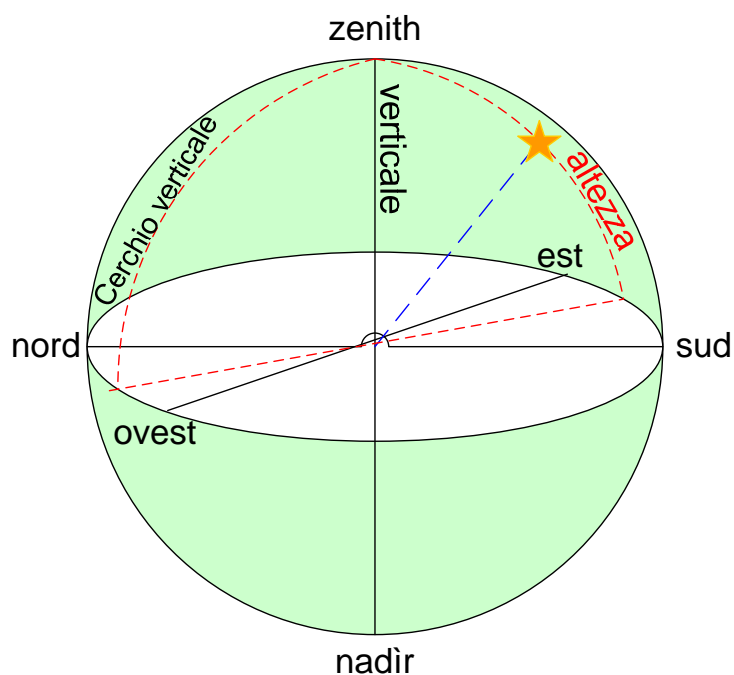
Fig. 6 – Definizione di "altezza" in un sistema altazimutale

La perpendicolare al piano orizzontale, detta *verticale* ed individuata dalla direzione di un filo a piombo, interseca la sfera celeste in due punti: uno sopra la testa dell'osservatore, detto *zenit*, ed uno in direzione opposta, detto *nadìr* (con l'accento rigorosamente sulla "*i*"!).

L'*asse terrestre*, cioè l'asse intorno al quale la Terra ruota compiendo un giro al giorno, interseca anch'esso la sfera celeste in due punti, detti *poli celesti Nord* e *Sud*. Questi vanno distinti dai *poli geografici* individuati dall'intersezione dell'asse con la superficie terrestre.

Il piano perpendicolare all'asse terrestre è detto *piano equatoriale*, poiché contiene l'equatore terrestre (Fig. 7). L'intersezione tra detto piano e la volta celeste è un cerchio massimo della sfera celeste che prende il nome di *equatore celeste*.
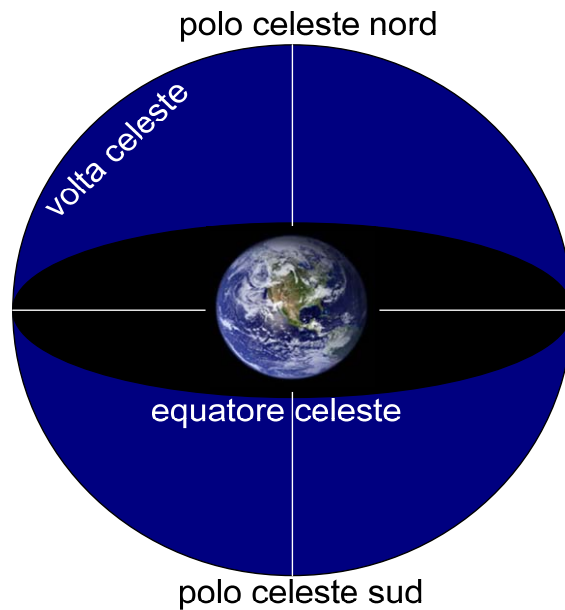
Fig. 7 – Poli ed equatori celesti

L’equatore celeste coincide con l’orizzonte astronomico per osservatori situati ai poli (Fig. 8). Per un osservatore situato all’equatore geografico, invece, i poli celesti giacciono sull’orizzonte ed individuano le direzioni Nord e Sud, mentre l’equatore celeste passa per lo zenit ed il nadìr, ed interseca l’orizzonte nei punti che individuano le direzioni Est ed Ovest (Fig. 9). Nelle località poste tra l’equatore e i poli geografici, i poli celesti e l’equatore celeste avranno altezze intermedie (Fig. 10).

Più in generale, per un osservatore posto nell’emisfero boreale:

1. l’altezza del polo Nord celeste è pari alla latitudine del luogo d’osservazione;
2. l’altezza massima dell’equatore celeste è pari al complementare della latitudine del luogo d’osservazione.

Provate a dimostrare queste due affermazioni (occorre solo ricordare un paio di teoremi di geometria sugli angoli); se non doveste riuscirvi, aiutatevi con la Fig. 11.

Fig. 8 – Equatore celeste ed orizzonte astronomico rispetto ai poli
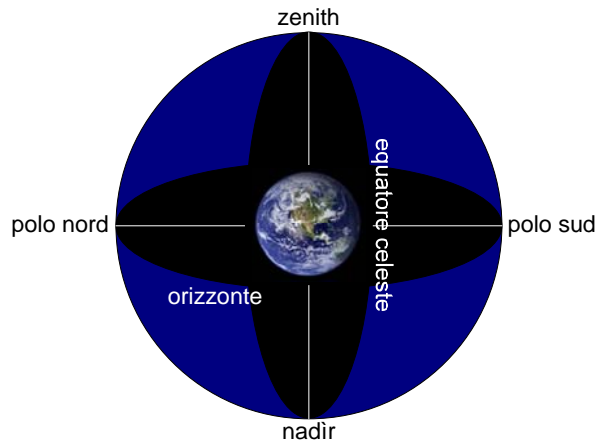
Fig. 9 - Equatore celeste ed orizzonte astronomico rispetto all'equatore celeste
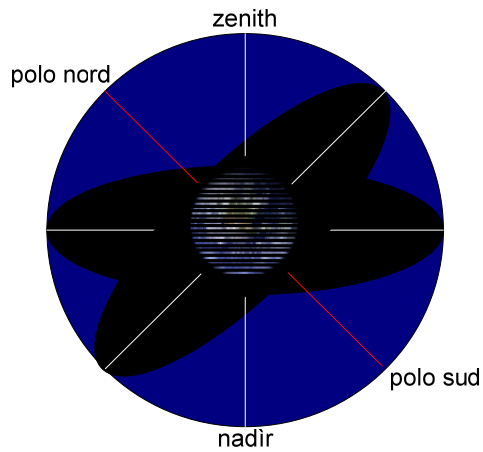
Fig. 10 - Equatore celeste ed orizzonte astronomico rispetto a posizioni intermedie
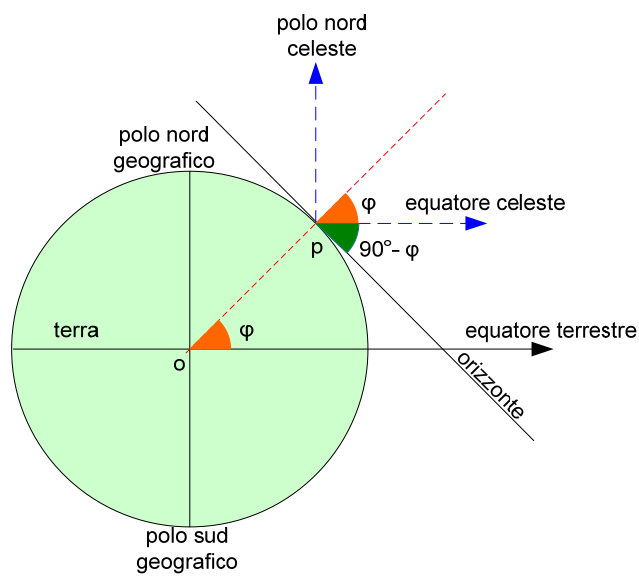
Fig. 11 – Individuazione altezza nell'emisfero boreale

Il cerchio massimo contenente i poli celesti, lo zenit ed il nadìr, prende il nome di *cerchio meridiano* (o anche, semplicemente, *meridiano*). La sua intersezione con l'orizzonte astronomico individua le direzioni Nord e Sud.

La distanza angolare dalla direzione Nord di un punto situato sull'orizzonte prende il nome di *azimut* (indicato con A). Essendo l'azimut contato in senso orario, i punti Est, Sud, Ovest e Nord hanno rispettivamente A = +90°, +180°, +270° e +360° (equivalente a 0°).

L'altezza e l'azimut sono sufficienti a determinare la posizione di un qualsiasi oggetto sulla volta celeste, così come latitudine e longitudine sono sufficienti a determinare la posizione di una qualsiasi località sulla superficie terrestre. Il sistema di riferimento che utilizza altezza e azimut come coordinate è chiamato, senza molta fantasia, *altazimutale* (Fig. 12).

Si nota subito che, per quanto detto, quello **altazimutale è un sistema di riferimento *locale***, cioè l'altezza e l'azimut di un astro cambiano se si cambia il punto di osservazione. Ciò costituisce uno svantaggio, perché le stesse coordinate individuano punti diversi della sfera celeste a seconda della località di osservazione.
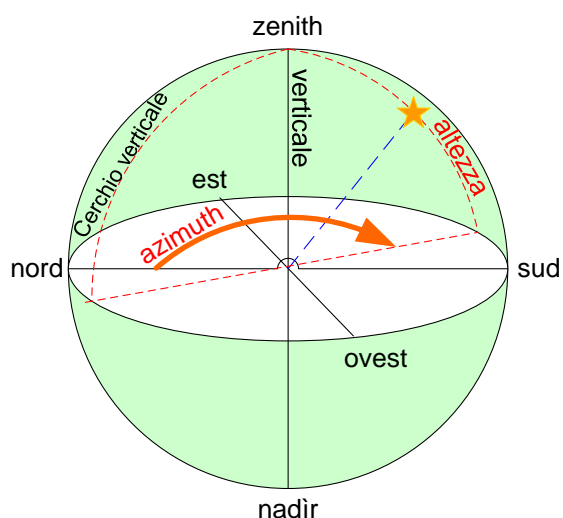
Fig. 12 – Coordinate altazimutali

Esiste poi un secondo svantaggio del sistema altazimutale: **la dipendenza di altezza ed azimut dal tempo**, dovuta al moto di rotazione della Terra intorno al suo asse.

Tale moto risulta evidente osservando il movimento apparente del Sole sulla sfera celeste: esso sorge, in un punto situato genericamente verso oriente, culmina, cioè transita al meridiano, attingendo in tale punto la massima altezza della giornata e tramonta, in un punto situato genericamente verso occidente.

Di notte, allo stesso modo, le stelle sorgono, culminano e tramontano compiendo traiettorie ad arco di cerchio.
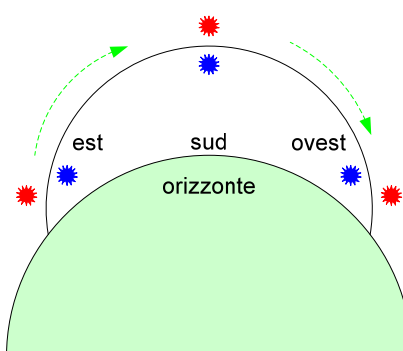
Fig. 13 – Movimento apparente di due oggetti in un sistema altazimutale

Ecco quello che succede quando due stelle, sorgendo verso Est, ci appaiono una accanto all' altra, (Fig. 13). Arrivate al meridiano esse saranno una sopra l' altra per poi tornare ad essere di nuovo affiancate quando tramonteranno verso Ovest.
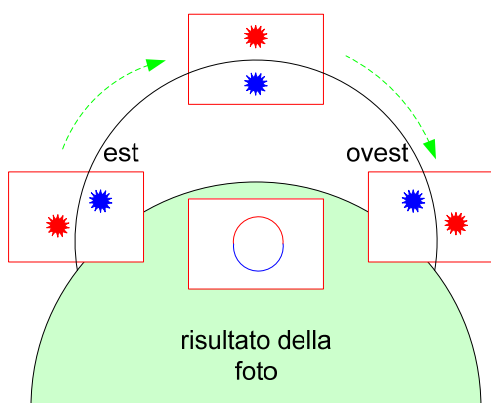
Fig. 14 – Effetto di rotazione di campo in un sistema altazimutale

Il rettangolo, in Fig. 14, che inquadra le stelle rappresenta il campo di vista di un'ideale macchina fotografica o di un CCD (Charge Coupled Device), montata su di un telescopio. Come si può vedere dal disegno la macchina, pur seguendo correttamente le stelle, rimane sempre parallela all' orizzonte: le stelle però appaiono ruotare ed il risultato di una lunga posa saranno due strisciate tanto maggiori quanto più sono distanti dal centro del campo inquadrato. Quello descritto rappresenta l'effetto di rotazione di campo che, nei telescopi altazimutali, si corregge mediante un asse, solidale con la camera, che ruota durante l'esposizione in verso opposto a quello apparente dell'oggetto e con la stessa velocità, controbilanciando l'effetto di rovesciamento dell'immagine.

Riprendendo in esame la Fig. 8, un osservatore posto al polo Nord vede tutte le stelle descrivere cerchi paralleli all'orizzonte, senza che nessuna di esse sorga o tramonti mai. Invece, per un osservatore situato all'equatore (Fig. 9), le stelle descrivono circonferenze perpendicolari all'orizzonte, rimanendo 12 ore sopra e 12 ore sotto di esso. Infine, un osservatore che si trovi ad una latitudine intermedia (Fig. 10) vede le stelle descrivere archi di circonferenza obliqui rispetto all'orizzonte: in particolare, le stelle che distano dal polo Nord di un arco minore della latitudine del luogo non tramontano mai (*stelle circumpolari*); quelle che distano dal polo Sud di un arco minore della latitudine del luogo non sorgono mai; tutte le altre sorgono e tramontano percorrendo sopra l'orizzonte un arco tanto più lungo quanto più sono prossime al polo Nord.
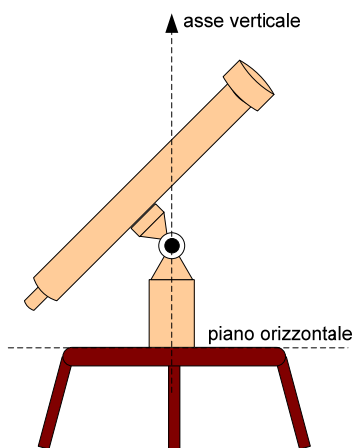
Fig. 15 – Montatura altazimutale

Il sistema altazimutale, quindi, sebbene comodo (altezza e azimut possono essere misurate utilizzando strumenti estremamente semplici), non è il più adatto per le osservazioni astronomiche in quanto le sue coordinate sono locali e dipendenti dal tempo. Esso è tuttavia ampiamente utilizzato in altri campi, quali la navigazione aerea, navale e spaziale.

La *montatura* di molti telescopi, ossia il meccanismo che li sostiene e ne consente il puntamento, è realizzata con un sistema che fa uso delle coordinate altazimutali.

La *montatura altazimutale* consiste di una doppia cerniera: l'asse della prima cerniera viene disposto parallelamente alla verticale locale; l'asse della seconda, perpendicolare alla prima, parallelamente al piano orizzontale (Fig. 15). In tal modo, una rotazione intorno alla prima consente di variare il solo azimut; una rotazione intorno alla seconda la sola

altezza. Evidentemente, per mantenere il telescopio puntato sull'oggetto celeste desiderato occorreranno continue correzioni su entrambi gli assi.

1.2.2. Il sistema equatoriale

Immaginiamo che la Terra sia al centro di una sfera vuota, che ha le stelle, le nebulose e le galassie dipinte sulla superficie interna della sfera ed il Sole, la luna ed i pianeti che si muovono, sempre sulla stessa superficie.
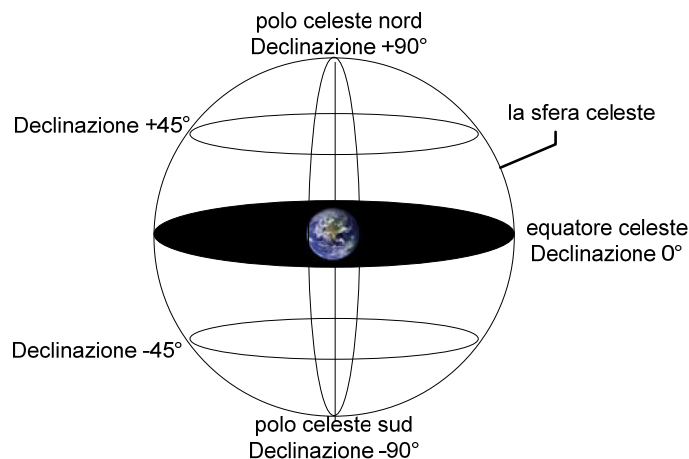
Fig. 16 – Proiezione coordinate terrestri sulla sfera celeste

Proiettiamo le linee terrestri della latitudine e della longitudine sulla sfera e l'asse di rotazione terrestre che determinerà i poli celesti Nord e Sud. A questo punto, per determinare la posizione di un oggetto su questa sfera, basterà conoscere le relative coordinate che lo localizzano (naturalmente queste cambieranno velocemente per gli oggetti che si muovono rapidamente come i pianeti, e lentamente per quelli meno rapidi).

Abbiamo nominato in precedenza il meridiano locale. Chiariamo bene questo punto fondamentale. Il **meridiano locale**, per gli astronomi, è la proiezione sulla volta celeste del meridiano terrestre che attraversa la nostra postazione ed ha precise coordinate relative al meridiano di Greenwich. Con la tracciatura del Meridiano Locale, abbiamo, in parole povere, costruito la "lancetta" dietro alla quale ruota lo splendido quadrante cosparso di stelle del nostro orologio. Ci ricordiamo quali sono i punti su cui si basano le coordinate terrestri? Certo, i Poli (l'asse Terrestre) e l'Equatore (un cerchio). Prolunghiamo allora l'asse terrestre in modo che raggiunga la nostra cupola e troveremo il Polo Celeste (quello Nord si trova in prossimità della Stella Polare) e, allo stesso modo, prolungando il piano giacente sull'Equatore, si traccerà una linea nel cielo chiamata Equatore Celeste.

Questi dati, al contrario dei primi, sono gli stessi per tutti gli osservatori distribuiti sulla superficie terrestre, essendo chiaramente indipendenti dalla zona da cui si guarda la "cupola". A questo punto è semplice dedurre che la Volta Celeste è la parte a noi visibile della Sfera Celeste al centro della quale la Terra ruota facendo un giro completo in un giorno (siderale). Non ci rimane che tracciare, su questa sfera, dei cerchi simili a quelli che ci permettono di individuare un punto sulla superficie terrestre ed ecco pronte le coordinate celesti, chiamate **ascensione retta** e **declinazione**.
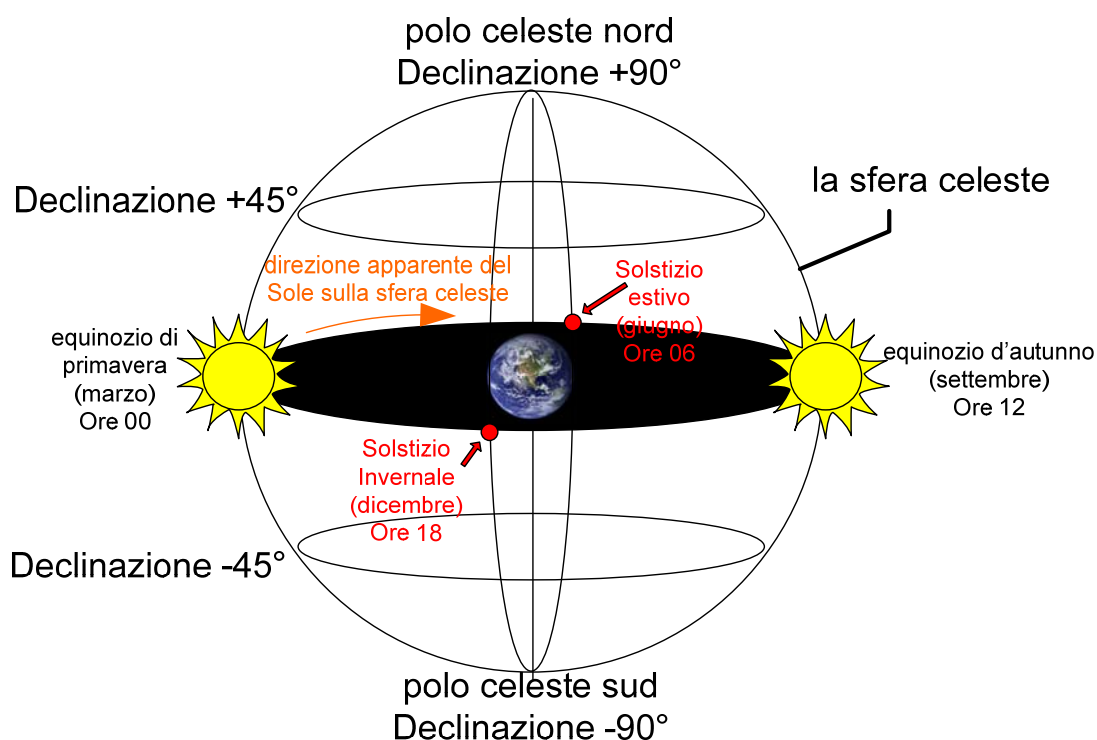
Fig. 17 – Principali riferimenti sulla sfera celeste
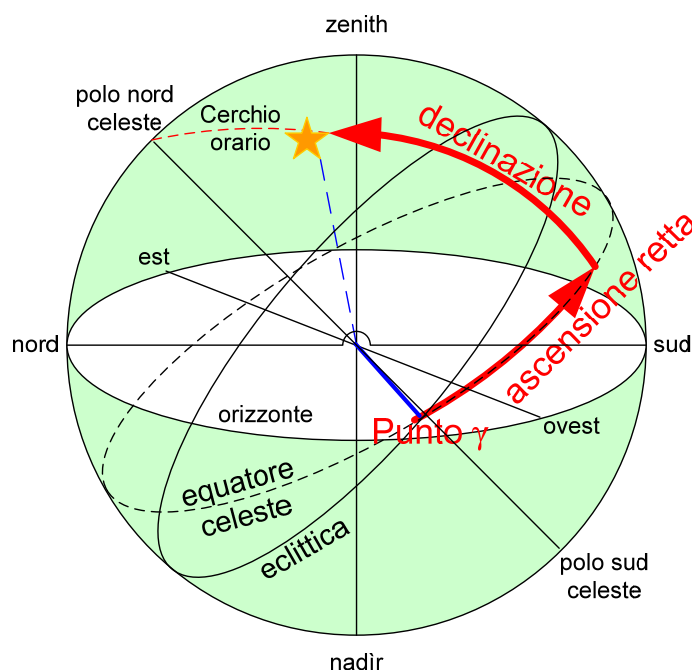
Fig. 18 – Coordinate equatoriali

Come per la misura della longitudine, per la quale il punto di riferimento è il meridiano di Greenwich, è necessario trovare un punto della Sfera Celeste su cui, per convenzione, basare le coordinate dell'ascensione retta. La scelta, per vari motivi, è caduta sul punto della Sfera Celeste in cui il Sole, nel suo percorso annuale lungo l'eclittica, incontra l'Equatore Celeste all'Equinozio di Primavera; tale punto è detto Punto Gamma o Primo Punto d'Ariete. Dunque la coordinata sulla sfera celeste, corrispondente alla longitudine sulla sfera terrestre, è l'**ascensione retta** (**A.R.**), che corrisponde alla longitudine celeste e, analogamente ad essa, è una distanza angolare, questa volta espressa in ore (**h**), minuti (**m**) e secondi (**s**) in un cerchio di 24 ore lungo l'equatore celeste, (corrispondenti, sull'Equatore Celeste, ad un

angolo di 15 gradi ciascuna: 15 x 24 = 360), in direzione est a partire dal **primo punto d'ariete** o **punto gamma**. La prima denominazione è dovuta al fatto che il Sole transita per quel punto nell'istante dell'equinozio di primavera e fa il suo ingresso nel segno zodiacale dell'Ariete. La seconda è legata alla somiglianza tra la lettera greca gamma (γ) e il simbolo del segno dell'Ariete (γ).

Ma perché si utilizzano le ore, i minuti ed i secondi anziché i gradi, come per la latitudine terrestre ? Perché è più conveniente utilizzare questa divisione che corrisponde al **giorno siderale**, il tempo necessario alla Terra affinché compia una rotazione completa rispetto alla sfera celeste.

La distanza dall'Equatore Celeste in direzione dei poli, si chiama invece **declinazione**, la seconda coordinata (corrispondente alla latitudine sulla Terra). Essa viene misurata in gradi (°), minuti di grado (') e secondi di grado (") e, partendo dall'Equatore Celeste (0°), per convenzione raggiunge il Polo Celeste Nord a (+) 90° e il Polo Celeste Sud a (-) 90°. Occorre ricordare, in ogni caso che, l'unità di misura dell'A.R. (ore, minuti e secondi) è una misura di spazio anche se, come vedremo, è molto legata alla misura del tempo. Se noi guardiamo a Sud troveremo che la A.R., con cui gli astronomi hanno suddiviso la sfera celeste, ha valori più elevati per gli astri che si trovano verso Est (a sinistra).

Sebbene più complesso nella definizione, il sistema equatoriale non presenta gli svantaggi di quello altazimutale. Infatti, al ruotare della sfera celeste, **la declinazione non cambia perché la traiettoria della stella nel suo moto apparente è un arco di cerchio parallelo all'equatore celeste; e nemmeno la sua ascensione retta varia, perché sia la stella che il punto d'Ariete ruotano solidalmente alla sfera celeste**.

Inoltre, **declinazione ed ascensione retta non variano se l'osservatore si sposta da un luogo all'altro della Terra, in quanto per la loro definizione non si sono utilizzati punti o cerchi di riferimento locali.**

Per questi motivi, la montatura più efficiente per un telescopio è quella *equatoriale* (Fig. 19).
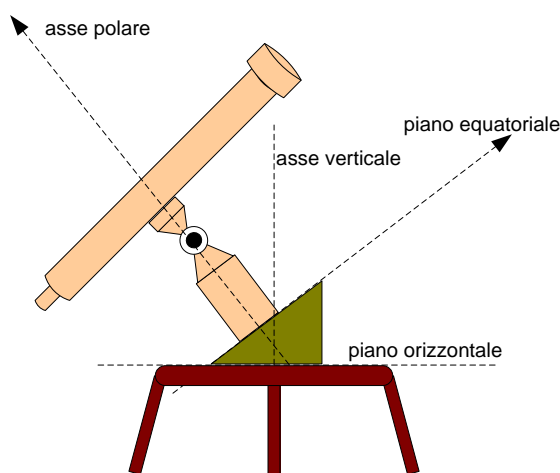
Fig. 19 – Montatura equatoriale
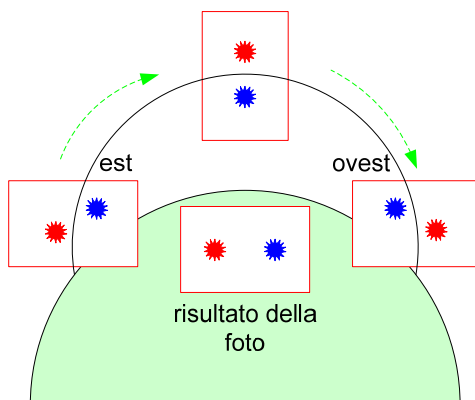
Fig. 20 – Assenza di rotazione di campo nel sistema equatoriale

Tornando alla nostra ripresa virtuale di due oggetti celesti vicini, in Fig. 20, il telescopio è adesso montato in equatoriale e perciò il campo di vista della macchina da ripresa ruota assieme al telescopio attorno all' asse polare della montatura del telescopio stesso, tenendo così inquadrate le due stelle sempre con la medesima inclinazione. Il risultato di una lunga posa saranno pertanto due punti. Questo implica che, dovendo fare fotografie, il telescopio deve essere il più possibile stazionato correttamente, per non incorrere nella rotazione di campo. Un piccolo errore, ad ogni modo, non pregiudica la foto se l' esposizione non è lunghissima. Anche con i telescopi altazimutali si possono effettuare riprese: il computer che governa i movimenti, oltre a far ruotare in azimut ed altezza il telescopio, provvederà con un terzo movimento a ruotare un' apposita apparecchiatura, detto **derotatore di campo**, il cui scopo è appunto di far ruotare la camera (derotare, cioè opporre una rotazione contraria a quella terrestre), in modo che così il telescopio e lo strumento, montati in un sistema altazimutale, possano seguire l' apparente rotazione dei corpi celesti senza rovesciare la loro immagine.

1.2.3. Il calcolo del tempo

Per la misura del tempo, quando usiamo i termini "ore", "minuti" e "secondi", intendiamo riferirci a unità di *Tempo Civile*, o *Tempo Solare Medio*, che è il tempo misurato dai comuni orologi.

Il computo del tempo civile è regolato dal moto apparente del Sole, ossia dal moto della Terra intorno al suo asse polare (detto *rotazione*, e compiuto in un giorno) e intorno al Sole (detto *rivoluzione*, e compiuto in un anno, ossia 365 giorni circa).
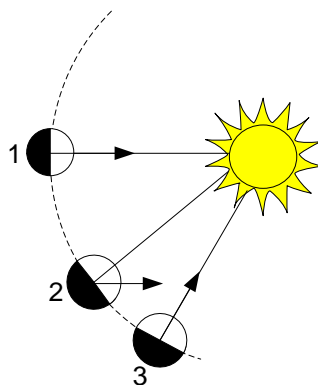
Fig. 21 – Calcolo del tempo in base alle rotazioni della terra nel sistema solare

Si definisce *giorno solare apparente* l’intervallo di tempo che intercorre tra due successivi transiti del Sole per il meridiano locale (dalla posizione 1 alla 3 di Fig. 21). A causa del suo moto di rivoluzione intorno al Sole, in questo lasso di tempo la Terra compie più di un giro su sé stessa rispetto alle stelle fisse: infatti, la rotazione rispetto a queste ultime si completa in posizione 2, quando cioè la freccia solidale alla Terra è nuovamente orizzontale.

La Terra compie una rivoluzione completa (360°) intorno al Sole in 365 giorni, e pertanto si muove di 360°/365 ~= 0°,986 al giorno. Per passare dalla posizione 2 alla posizione 3 la Terra dovrà ruotare intorno al suo asse dello stesso angolo. Poiché la Terra compie una rotazione completa intorno al suo asse in 24 ore, per ruotare di tale angolo impiegherà (24^h / 360°) x 0°,986 ~= 3^m 56^s.

Un *giorno siderale*, costituito da 24 ore siderali, è definito come il tempo che occorre alla Terra per ruotare una volta intorno al suo asse rispetto alle stelle fisse (da 1 a 2), il che avviene, per quanto detto, in poco meno di un giorno solare (esattamente in 23^h 56^m 04^s). In altre parole, trascorso un giorno siderale un osservatore rivedrà sopra la sua testa la stessa metà del cielo, Fig. 22.
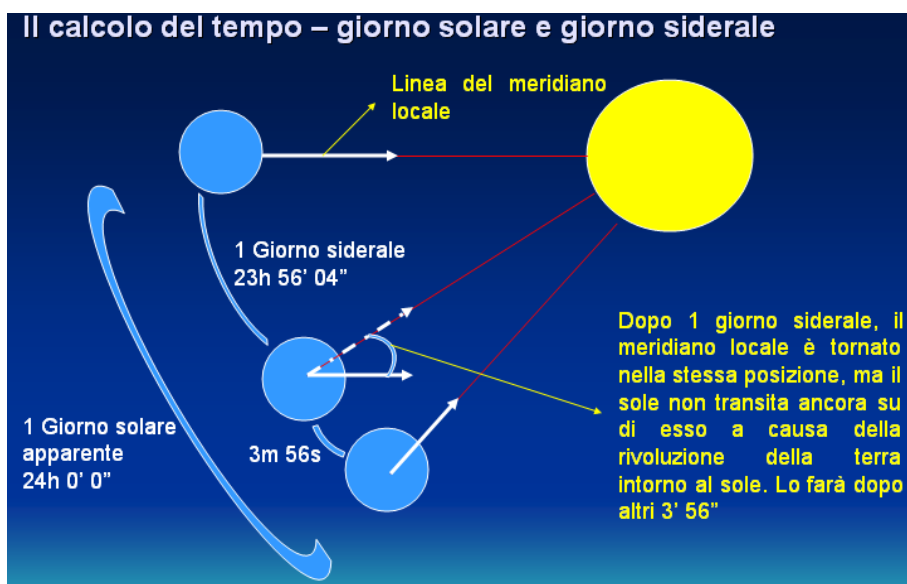
Fig. 22 – Rapporto fra giorno solare apparente e giorno siderale

Supponiamo ora di disporre di un *orologio siderale*, che segni cioè 24 ore nel tempo in cui la Terra fa un giro su sé stessa. Questo orologio anticipa di 3^m 56^s al giorno rispetto ad un comune orologio. Regoliamo poi l'orologio siderale in modo che segni 0^h quando il punto d'Ariete passa in meridiano. Il tempo misurato dall'orologio così regolato è chiamato *tempo siderale*.

Con un siffatto orologio possiamo stabilire immediatamente la posizione del punto d'Ariete in ogni istante della giornata. Quando l'orologio segnerà zero ore, il punto d'Ariete sarà nuovamente in meridiano; quando segnerà un certo tempo S, il punto d'Ariete disterà dal meridiano di un arco S (misurato in ore e minuti), il che vuol dire che al meridiano si troveranno gli astri che distano di un arco S dal punto d'Ariete. Ma la distanza di un punto dell'equatore celeste dal punto d'Ariete è proprio l'ascensione retta, e perciò **quando l'ora siderale è S, al meridiano si trovano gli astri di ascensione retta S**. Appare ora evidente il motivo per cui le ascensioni rette si misurano in ore e minuti.

Il problema della determinazione dei punti di riferimento celeste sarebbe così risolto se non fosse per il fatto che non tutti dispongono di un orologio siderale.

Si definisce *anno siderale* il tempo necessario alla Terra per compiere una rivoluzione completa intorno al Sole rispetto alle stelle fisse. In altre parole, dopo un anno siderale il Sole torna ad essere visto dalla Terra nella stessa posizione rispetto alle stelle fisse. Un anno siderale dura 365^d 06^h 09^m 09^s,5 circa.

Si definisce *anno tropico* l'intervallo di tempo tra due successivi equinozi di primavera. Dal punto di vista dell'osservatore terrestre, dopo un anno tropico il Sole si ritrova al punto d'Ariete. L'anno tropico coinciderebbe con quello siderale se non esistessero delle irregolarità del moto della Terra, la più importante delle quali è il *moto di precessione*.

La Terra, come è noto, non è perfettamente sferica, bensì risulta schiacciata ai poli. Il Sole e la Luna esercitano delle forze sul rigonfiamento equatoriale col risultato di provocare un moto simile a quello di una trottola il cui asse di rotazione sia spostato dalla verticale. L'asse terrestre, inclinato di 23°27' rispetto alla normale al piano dell'eclittica, descrive nel suo moto una superficie conica intorno al *polo dell'eclittica* (l'intersezione tra la normale al piano dell'eclittica e la sfera celeste), il cui semiangolo al vertice è appunto 23°27' (Fig. 23).

L'asse terrestre presenta poi un ulteriore moto, detto *nutazione*, causato dall'attrazione lunare sul rigonfiamento equatoriale della Terra. La nutazione è una piccola oscillazione di ampiezza 9" e periodo 18,6 anni che, combinandosi col moto di precessione, fa sì che la superficie conica descritta dall'asse terrestre non sia liscia ma leggermente "increspata".

Contemporaneamente, anche l'intersezione tra il piano dell'eclittica e il piano equatoriale (il punto d'Ariete) si muove, poiché è vincolata a rimanere sempre perpendicolare all'asse terrestre. Lo spostamento del punto d'Ariete è di circa 50" all'anno in senso opposto a quello di rivoluzione della Terra. Ciò vuol dire che per tornare al punto d'Ariete la Terra non deve compiere 360° intorno al Sole, ma soltanto 359°59'10". Ciò avviene, per l'appunto, in un anno tropico, la cui durata (determinabile con una semplice proporzione) è di 365^d 05^h 48^m 45^s,2 circa.
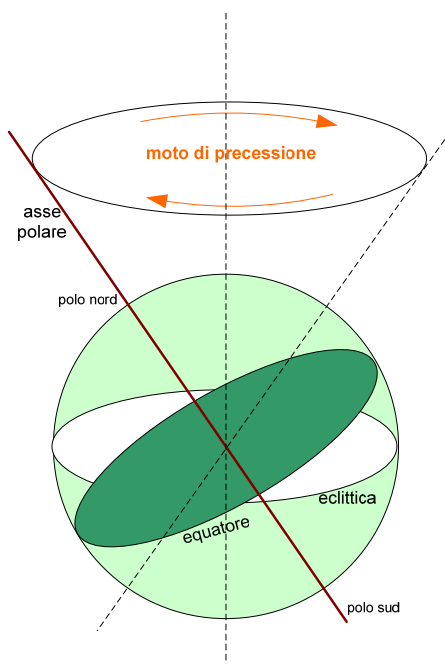
Fig. 23 – Effetto del moto di precessione sull’asse polare terrestre

Conseguenza fondamentale del moto di precessione è lo spostamento del punto equinoziale sulla sfera celeste (*precessione degli equinozi*). Questo fenomeno, sebbene di piccola entità ed evidente solo in tempi lunghissimi, fu scoperto dall’astronomo greco Ipparco di Nicea già nel II secolo a.C.

Duemila anni fa, quando in Grecia nasceva l’astronomia occidentale e, con essa, prendevano forma le costellazioni, il punto equinoziale segnava la fine della costellazione dei Pesci e l’inizio di quella dell’Ariete (da cui il nome di punto d’Ariete). Oggi, per effetto del lento moto di precessione, esso si è spostato di oltre 25° e si trova in piena costellazione dei Pesci.

Poiché il moto di precessione non è "riconosciuto" dagli astrologi, al giorno d’oggi esiste una marcata differenza tra i *segni* e le *costellazioni* dello *zodiaco*. Nella Fig. 24 e nella tabella 1 sono mostrati lo zodiaco degli astrologi (cerchio interno) e quello degli astronomi (cerchio esterno).
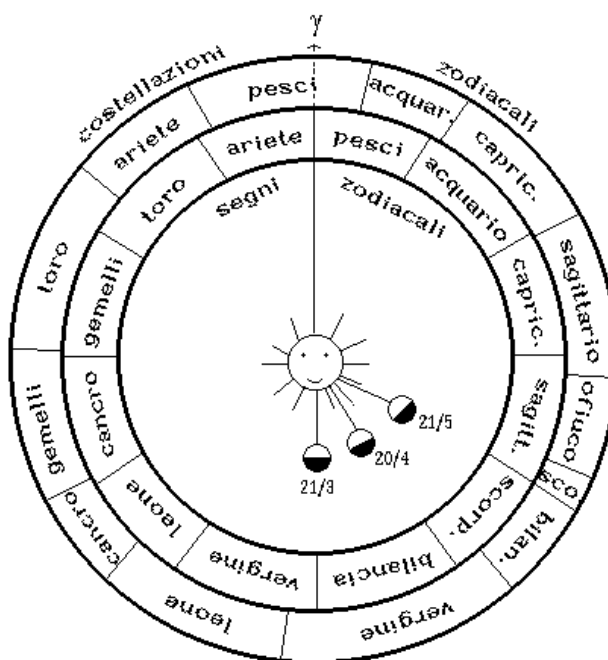
Fig. 24 – Costellazioni dello zodiaco astrologico ed astronomico

Tab. 1 – Lo Zodiaco astronomico

Costellazione	**Durata**
Ariete	18 aprile 13 maggio
Toro	14 maggio 19 giugno
Gemelli	20 giugno 17 luglio
Cancro	18 luglio 7 agosto
Leone	8 agosto 12 settembre
Vergine	13 settembre 27 ottobre
Bilancia	28 ottobre 19 novembre
Scorpione	20 novembre 27 novembre
Ofiuco	28 novembre 15 dicembre
Sagittario	16 dicembre 18 gennaio
Capricorno	19 gennaio 16 febbraio
Acquario	17 febbraio 11 marzo
Pesci	12 marzo 18 aprile

Un'ulteriore conseguenza della precessione degli equinozi è che per evitare un progressivo sfasamento delle stagioni, i calendari devono basarsi sull'anno tropico e non sull'anno siderale.

Il calendario giuliano, istituito da Giulio Cesare nel 45 a.C., contava 365 giorni. Ogni quattro anni, per tener conto delle frazioni di tempo in più, veniva eccezionalmente inserito un giorno tra il 24 e il 25 febbraio (*dies bis-sextus*, così chiamato perché il 24 febbraio, *dies sextus ante calendas martias*, veniva ripetuto due volte). L'*anno giuliano* veniva così a durare, in media, $365^d\ 06^h$, ossia circa $11^m\ 15^s$ più dell'anno tropico. Come è facile calcolare, questa differenza comportava un anticipo dell'equinozio di primavera di un giorno ogni 128 anni circa.

Sebbene già nell'VIII secolo d.C. il filosofo ed astronomo inglese Beda avesse evidenziato il problema dello sfasamento del calendario giuliano in seguito alla precessione degli equinozi, si dovette arrivare al 1582 perché Papa Gregorio XIII decretasse la riforma del calendario, che così prese la forma attuale ed il suo nome.

A quell'epoca, l'anticipo dell'equinozio di primavera, fissato al 21 marzo dal Concilio di Nicea (325 d.C.), era di

$$(1582 - 325) \times 11^m\ 15^s = 235^h\ 41^m\ 15^s$$

ossia poco meno di 10 giorni!

La riforma stabilì che, per perdere i giorni di troppo, si saltasse dalla mezzanotte del 4 ottobre 1582 all'ora zero del 15 ottobre successivo. Tale modifica, da sola, non sarebbe bastata, perché continuando a seguire il calendario giuliano si sarebbe presentato ben presto un nuovo anticipo. Perciò, la commissione di astronomi incaricata di redigere il nuovo calendario, guidata da Christopher Clavius (1537-1612), decise di eliminare tre anni bisestili (nella fattispecie, quelli secolari non divisibili per 400) ogni quattro secoli.

Il calendario *gregoriano* non elimina completamente il problema della precessione, anche se con esso si ha soltanto un giorno d'anticipo ogni 3226 anni. In epoca moderna, si è provveduto ad introdurre ulteriori regole per eliminare anche questo sfasamento, stabilendo, tra l'altro, che gli anni millenari divisibili per 4000 siano comuni anziché bisestili.

1.2.4. La Data Giuliana

Per la soluzione di molti problemi di astronomia è necessario determinare quanto tempo è intercorso tra due date spesso molto distanti fra loro. Per evitare le complicazioni insite in questo calcolo, Giuseppe Scaligero, un umanista del XVI secolo, ideò la *data giuliana* (che non ha niente a che spartire con il calendario giuliano).

In pratica, e molto semplicemente, lo Scaligero non fece altro che scegliere una "data zero" molto lontana nel passato, e attribuire ad ogni giorno successivo un numero progressivo, in modo che la distanza tra due date potesse essere calcolata facendo banalmente la differenza tra esse.

La "data zero" è il mezzogiorno a Greenwich del 1° gennaio del 4713 a.C., data scelta in modo che tutte le osservazioni di cui esiste testimonianza scritta avessero data giuliana positiva.

Dunque, puntando il telescopio (senza alcun motore guida), ad una coordinata, per esempio A.R.= 0 h, Dec=0°, e tornando dopo un'ora, potremo notare che il nostro strumento starà puntando all'A.R. = 1h, Dec = 0°. Poiché il moto di rivoluzione terrestre intorno al Sole contribuisce al moto apparente delle stelle, puntando il telescopio sempre al punto con A.R.= 0 h e Dec=0°, 24 ore dopo il telescopio punterà a A.R.= 0 h 4m, Dec=0° a causa della differenza tra giorno solare e giorno siderale. La conseguenza è che le stelle che stiamo osservando sembrano levarsi quattro minuti prima ogni giorno che passa.

Nell'esempio della partenza per Los Angeles possiamo paragonare gli stati alle costellazioni, le stelle alle città e, conoscendo le coordinate, sta a noi esprimerci nella maniera più opportuna. La distanza tra due punti della superficie terrestre è indicata con misure lineari (metri, chilometri ecc.) mentre la distanza tra due punti sulla volta celeste si indica in gradi di un angolo, giacente su di un piano che passa attraverso noi e i due punti considerati, del quale occupiamo il vertice. Molto spesso ci troviamo a dover indicare ad altri un punto del cielo riferendoci ad un oggetto noto "Vedi Vega? Più in basso a sinistra! Non quello, più ad Ovest! Spostati a Nord" e le ricerche continuano... Se noi immaginiamo in cielo un orologio con Vega al centro, invece di dire in basso a sinistra, esprimiamoci con frasi tipo: "a ore 7 di Vega".

Grazie dunque alle coordinate di A.R e DEC, ora sappiamo che anche gli oggetti celesti, alla stregua dei luoghi sulla Terra, possiedono una posizione univoca identificata dal **sistema di coordinate equatoriali** appena descritto. Vediamo allora di capire come sfruttare questo sistema di riferimento per individuare i nostri oggetti nel cielo.

1.3. Orientarsi nel cielo – punti di riferimento

Ritorniamo al nostro posticino di notte in cui ci eravamo fermati con il naso all'insù. Dopo aver abituato l'occhio al buio, ci sembrerà d'essere avvolti da un profondo universo stellato, un infinito cielo di stelle. In realtà anche in situazioni molto favorevoli all'osservazione saremo in grado di distinguere solo una piccola parte di stelle, all'incirca 2500 su molti miliardi. Le altre sono infatti troppo deboli per poterle osservare senza l'uso di un binocolo o di un telescopio.

Prolungando l'osservazione per qualche ora è possibile scorgere anche il moto delle stelle: le vedremo muoversi da est verso ovest, con un movimento apparente di circa 15 gradi all'ora, come dire che il cielo sembra compiere rigidamente un intero giro su se stesso in circa 24 ore. Le stelle appaiono sempre nella stessa posizione relativa, ovvero la distanza che le separa rimane sempre invariata..., quasi come se fossero "incastonate" all'interno di una sfera che ruota attorno alla terra. La stessa Bibbia parla del cielo chiamandolo *firmamento*, parola che ha la radice latina del termine "fisso".
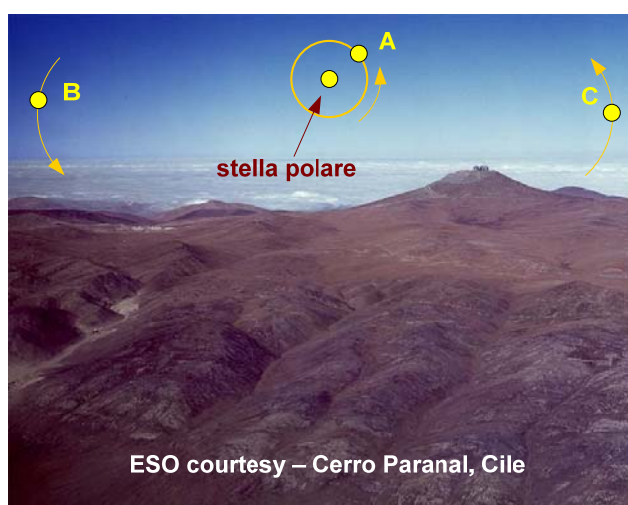
Fig. 25 – Moto apparente degli astri (A circumpolare, C posizione al sorgere, B posizione al tramonto)

Oggi sappiamo bene che non è così e che nella realtà è la terra a muoversi nel cielo. Non solo: al pari della terra anche tutti gli altri corpi dell'Universo ruotano, in particolare gravitano tutti attorno al centro del sistema stellare, la nostra Galassia: la Via Lattea. Le stesse stelle appaiono ai nostri occhi immobili solo perchè la distanza che ci separa è

talmente grande da mascherare a prima vista il loro moto. Ma vediamo come orientarsi per non perdersi in così tante stelle...

Il primo e più grande problema che incontra il neoappassionato di astronomia è come trovare in cielo gli astri di cui legge favolose descrizioni. Per orientarsi basta identificare le stelle principali da usare come riferimento. Prima ancora di trovare le stelle "chiavi" conviene orientarsi stabilendo dove si trovano i punti cardinali dal proprio sito di osservazione. Basta trovarne uno, perchè gli altri si susseguono a 90° lungo la linea dell'orizzonte.

Fig. 26 – Esempio di bussola

Per un primo approccio va bene l'indicazione di una **bussola**, il cui ago si dirige verso non il **nord geografico**, ma più esattamente verso il **nord magnetico**. Per l'Italia il divario è di circa 10°-12°: vuol dire che l'ago punta di questa quantità più a ovest rispetto al polo geografico.

Un altro metodo consiste nel vedere dove sorge o tramonta il **Sole**. Sappiamo che il Sole sorge a est e tramonta ad ovest, ma a rigore questo è vero solo agli equinozi. Negli altri periodi dell'anno appare spostato verso nord o sud di una quantità che dipende in gran parte dalla latitudine. Tutto sommato il metodo più semplice per stabilire con ragionevole precisione il nord, e di conseguenza gli altri punti cardinali, è quello che si basa sull'ombra proiettata dal Sole al **mezzogiorno** vero locale. Quest'ora corrisponde sensibilmente alle ore 12 (ore 13 se è in vigore l'orario legale estivo) più o meno **4** minuti per ogni grado a ovest o a est rispetto al meridiano dell'Europa centrale, quello che in Italia passa per l'Etna e per Termoli. Per esempio per Milano, che si trova 5°48' a ovest di questo meridiano, occorre aggiungere 23 minuti alle ore 12 (ricordiamoci la proporzione secondo cui 15° corrispondono a 1 ora di orologio).

Guardando lungo la direzione indicata dall'ombra del sole al mezzogiorno del luogo, a circa metà strada tra lo zenit e l'orizzonte, è visibile di notte una stella luminosa ma non particolarmente splendente: **la stella Polare**, una stella binaria (alcuni libri dicono addirittura tripla...) che dista circa **300** anni luce dalla Terra.

Non è troppo difficile da individuare, perchè è piuttosto isolata e si trova in una area di cielo priva di stelle luminose. Il nome "Polare" ricorda l'uso che ne veniva fatto in tempi passati dai navigatori in mare aperto, che ne utilizzavano proprio la posizione per conoscere la direzione del nord terrestre.

Fig. 27 – La stella polare indica il nord celeste

Proiettando idealmente l'asse della Terra sulla volta celeste, nel verso che esce dal polo nord terrestre, si definisce il **polo nord Celeste**, indicato proprio dalla stella Polare.

Sfortunatamente in questi ultimi anni l'inquinamento luminoso delle città ha reso sempre più difficile l'osservazione delle stelle, anche quelle luminose come la stella Polare. Quindi per questo riconoscimento occorre considerare un cielo che non sia proprio quello di una grossa città, ed è consigliabile spostarsi in una zona di campagna o ancor meglio di montagna.

È importante poi avere un orizzonte libero e disporre di una carta stellare, anche semplice, per la consultazione, che possiamo trovare ad esempio in molti atlanti geografici e che riportano le stelle principali.

Forse non tutti sanno che a causa dello spostamento dei poli terrestri rispetto alla volta celeste (la precessione degli equinozi), la stella Polare non è sempre la stessa, ma è destinata a cambiare in continuazione; ad esempio, si calcola che tra circa 5.500 anni sarà una stella della costellazione Cefeo, mentre l'attuale astro tornerà a ricoprire il ruolo di stella Polare solo fra 26.000 anni. Ciò non toglie che spesso la stella Polare venga considerata come astro fisso nel cielo, attorno al quale tutte le altre stelle ruotano, trovandosi nelle immediate vicinanze del polo nord celeste per diverse migliaia di anni. Per trovare la Stella Polare può essere utile ricorrere all'uso delle carte stellari.
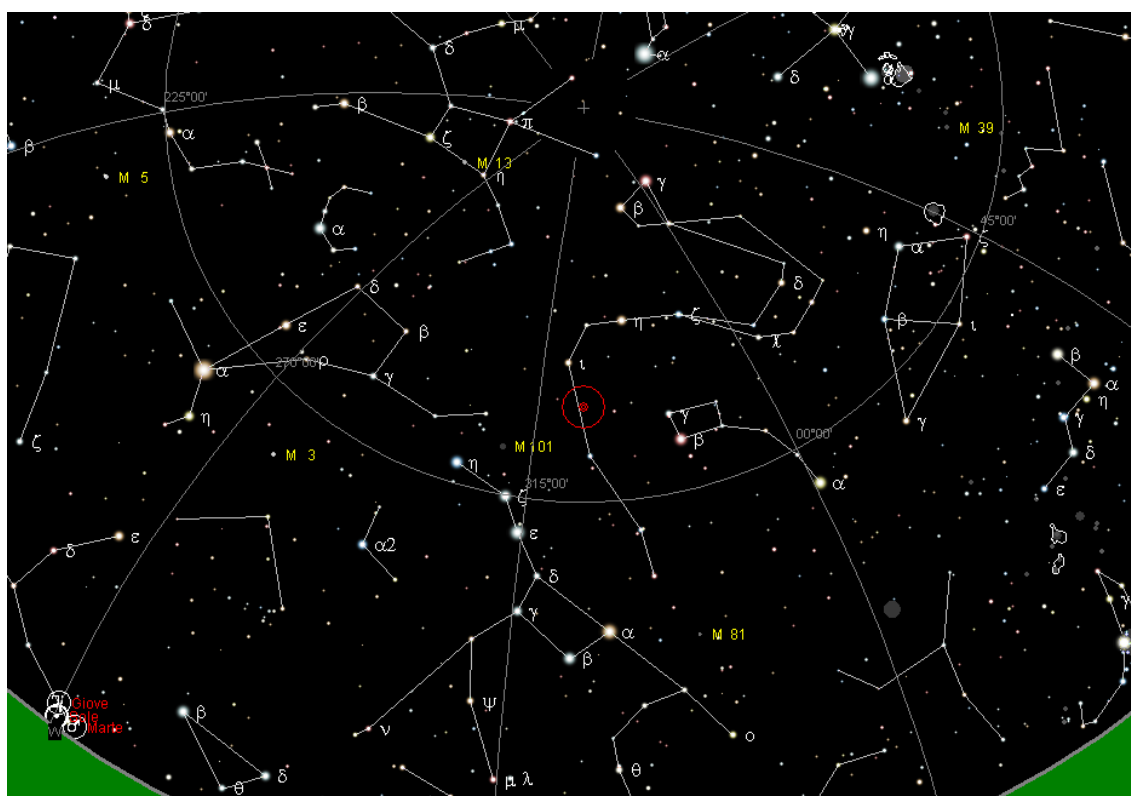
Fig. 28 – Tipico aspetto di una carta del cielo in cui sono visibili le costellazioni – Cartes du Ciel

Una mappa del tipo mostrato in Fig. 28, si può realizzarla grazie al nostro computer, installando uno dei numerosi programmi (anche gratuiti) di astronomia. In particolare l'immagine di cui sopra è stata ricavata dal programma "Cartes du Ciel", di cui parleremo in dettaglio fra qualche capitolo.

Sulla mappa non sarà difficile individuare le stelle principali e in particolare quelle dell'**Orsa Maggiore** e di **Cassiopea**, che si trovano vicino al polo celeste nord. L'Orsa Maggiore è ben visibile in primavera, Cassiopea in autunno.

Le Stelle di una costellazione (in figura quelle di **Cassiopea**) si trovano a distanze molto diverse. Proiettate sulla volta celeste appaiono però appiattite assumendo la forma caratteristica della Costellazione (Cassiopea forma una "w"), come mostrato in Fig. 29.
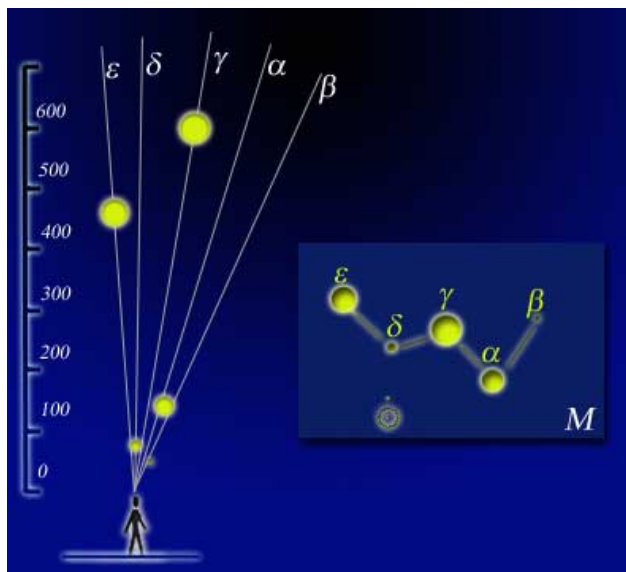
Fig. 29 – Effetto ottico che individua una costellazione di stelle

In Fig. 29 le distanze sono espresse in **anni luce.** Le stelle di ogni costellazione sono indicate attraverso le lettere dell'alfabeto greco, a partire con la lettera "alfa" con la quale si indica la più luminosa della Costellazione, proseguendo con "beta", "gamma" e via dicendo, fino ad arrivare a "omega".

METTERE FIGURE DI ALTRE COSTELLAZIONI

Il metodo pratico migliore per arrivare ad individuare la stella Polare consiste proprio nell'utilizzare come riferimento le sette stelle principali dell'Orsa maggiore, cioè quelle che costituiscono il **Gran Carro**. Questo è facilmente riconoscibile in cielo guardando verso nord e tenendo sott'occhio una mappa di riferimento, vedi Fig. 30.
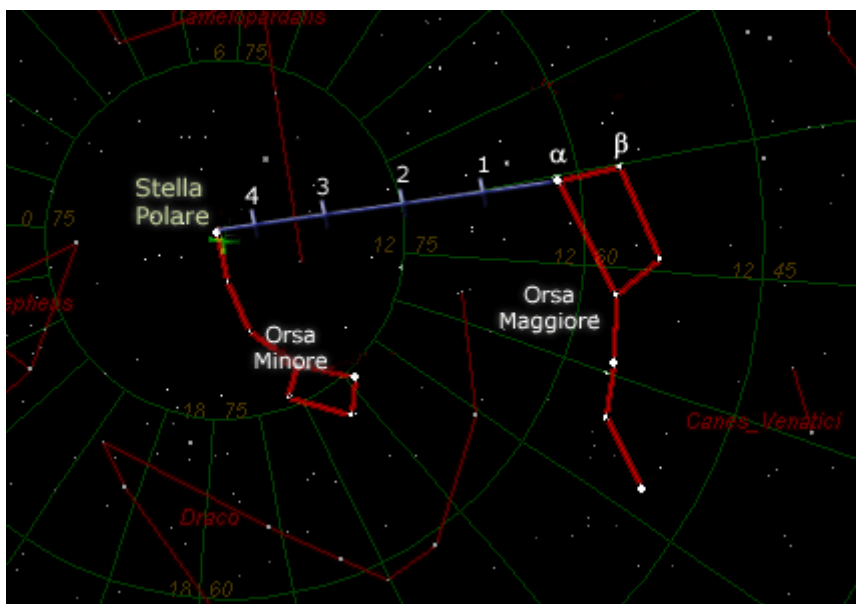
Fig. 30 – Individuazione della stella polare

Prolungando di **quattro volte e mezzo** la direzione che da "beta" conduce ad "alfa", si arriva alla stella Polare. È questo il motivo per cui le stelle "alfa" e "beta" dell'Orsa Maggiore sono chiamate "guardie" o "puntatori".

3. Alla scoperta dei telescopi

L'Astronomia, essendo una delle prime (se non la prima) scienze inventate dall'umanità nel corso dei secoli, ha mantenuto nel tempo il fascino che rapì l'uomo delle caverne che alzava, per la prima volta, gli occhi al cielo stellato.

Questo fascino ha reso l'astronomia tanto attraente da poter essere studiata a fondo anche da persone non necessariamente esperte in materia, le quali, al pari delle più sapienti, hanno amato e saputo apprezzare i misteri in cui è avvolta. Alcuni sostengono che l'Astronomia sia una delle scienze più complesse in assoluto (non a caso, si definisce "astronomico" tutto ciò che sia difficilmente comprensibile).

L'Astronomia, in realtà, fa parte di quelle poche scienze a poter essere facilmente studiate anche a livello amatoriale. Asimov scrisse: "*Le armi più potenti nella conquista della conoscenza sono l'intelligenza e la curiosità insaziabile che le fa da stimolo*".

La stessa curiosità ha spinto e portato l'ingegno umano ad alcune invenzioni che hanno permesso a tutti noi di allargare i propri orizzonti, al di la di ciò che è permesso ai nostri (astronomicamente miseri) occhi.

Indipendentemente dall'esperienza e dal livello di conoscenze, vi sono astronomi dilettanti (chiamati anche astrofili) ed astronomi professionisti, tutti in grado di studiare a fondo la loro scienza.

Oggi nell'osservazione del Cielo siamo aiutati da un gran numero di strumenti per mezzo dei quali possiamo ammirare le costellazioni di notte, oppure spettacoli come un'eclissi di Sole in pieno giorno, in tutta sicurezza.

Lo strumento principe rimane il telescopio ma, pur non disponendo di esso, abbiamo tutti la possibilità di godere dello spettacolo che il cielo ci propone tutti i giorni. Basta alzare per qualche istante lo sguardo, per accorgersi di quanto ciò sia vero. Che sia giorno o notte, nuvoloso e sereno, in ogni caso si tratta di uno spettacolo fantastico.

1.4. La Percezione Visiva

Un telescopio può essere usato essenzialmente in due modi: per l’osservazione visuale e quella fotografica.

Entrambe sono alla portata dell’astrofilo, ma a livello di ricerca scientifica l’astronomia si avvale esclusivamente della registrazione degli oggetti celesti in forma elettronica con i moderni CCD (Charge Coupled Device), seguita da un attenta analisi delle immagini raccolte che vengono anche confrontate con altre in archivio inerenti allo stesso soggetto.

I limiti dell’osservazione visuale derivano dalle limitazioni insite nella percezione delle immagini da parte dell’occhio umano. Ad uno *stimolo* luminoso costituito da onde elettromagnetiche dello spettro visibile provenienti dall’oggetto che stiamo osservando, per esempio il campo all’interno dell’oculare, corrisponde una *sensazione visiva* riprodotta dal nostro cervello sulla base di quanto raccolto dall’occhio (o da entrambi gli occhi in caso di *visione binoculare*). La percezione visiva è, come tutte le sensazioni umane, *soggettiva* poiché, come vedremo, dipende da come noi filtriamo ed elaboriamo gli stimoli esterni, con piccole variazioni da individuo a individuo. E’ evidente che la sensazione visiva è correlata alle caratteristiche fisiche dell’immagine; si possono, quindi, descrivere le sue proprietà tramite parametri *psicofisici* che permettono di *quantificare* la percezione visiva sulla base delle caratteristiche *medie* della visione umana. Spiegare esattamente come sia possibile far corrispondere tali parametri psicofisici a quelli fisici ad essi relativi esulerebbe dallo scopo di questa trattazione. Pertanto noi ci limiteremo a descrivere le principali proprietà della percezione visiva e come queste caratterizzino l’osservazione visuale astronomica.

1.4.1. L’Occhio Umano

Prima di tutto è opportuno dare una descrizione sommaria del funzionamento del "sensore" della percezione visiva, cioè l’occhio umano, le parti principali del quale sono rappresentate in Fig. 31.

La superficie esterna anteriore dell’occhio è ricoperta da una membrana trasparente, detta *cornea*, che, insieme al *cristallino*, una vera e propria "lente", focalizza un’immagine reale e capovolta degli oggetti sulla *retina*, una membrana sensibile all’energia fotonica interna all’occhio. La luce che incide sulla retina viene convertita in segnali elettrici.

Attraverso il *nervo ottico*, questi vengono condotti al cervello che provvede ad elaborarli e a generare la sensazione visiva.

La retina è costituita da uno strato di 0.2 mm di due tipi di cellule diverse: i *coni* e i *bastoncelli*, in totale 125 milioni di elementi. I bastoncelli sono sensibili all’*intensità luminosa*, i coni al *colore*. In situazioni di bassa luminosità (*luce crepuscolare*) i coni non sono eccitati ed è per questo che in tali condizioni vediamo "in bianco e nero". Siamo nella tipica situazione in cui ci si trova durante un’osservazione astronomica; solo delle stelle più luminose possiamo percepire il colore, mentre tutte le altre, come pure le sgargianti nebulose che puntiamo col nostro telescopio, ci appaiono di un bianco un pò sbiadito.
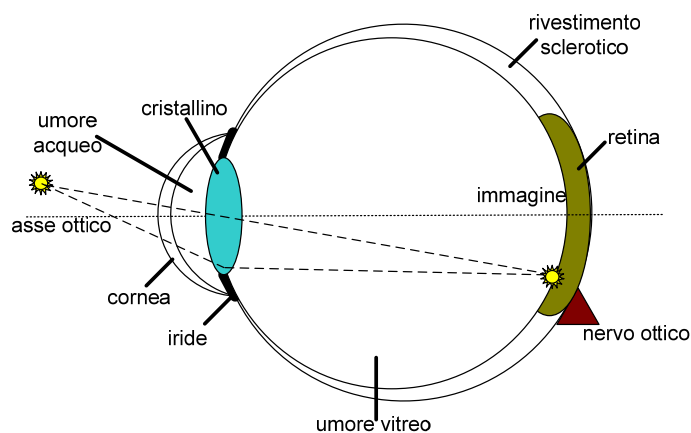
Fig. 31 – Anatomia dell'occhio umano

Di coni ce ne sono di tre tipi sensibili a tre colori fondamentali: il *rosso*, il *verde* e il *blu*. Essi, inoltre, sono circa un quarto in numero rispetto ai bastoncelli; ciò significa che il nostro occhio ha maggiore *potere risolutivo* per punti luminosi piuttosto che per punti colorati. Infatti, a meno di variazioni individuali, possiamo distinguere due punti luminosi su sfondo scuro che formano con la pupilla un angolo di un primo d'arco (due punti separati da 1 mm visti dalla distanza di 3,44 m), ma se i due punti fossero di diverso colore, non saremmo in grado di apprezzare anche la differenza cromatica se non raddoppiando (almeno) la distanza fra di essi.

I coni sono più concentrati al centro della retina (*macchia lutea*), i bastoncelli predominano all'esterno; per questo motivo, **per aumentare l'acuità visuale e la sensibilità quando si osserva col telescopio, si consiglia di tenere l'occhio obliquo**, affinché l'immagine si proietti in una zona della retina ricca di bastoncelli.

L'occhio comprende anche un diaframma opaco, detto *iride*, che regola le dimensioni dell'apertura (la *pupilla*) attraverso la quale la luce entra: un'azione muscolare riflessa provvede a restringerla se l'intensità luminosa è troppo elevata e ad allargarla se è bassa. Il diametro della pupilla può variare tra un minimo di poco più di 1 mm (luce forte) e un massimo di circa 7 mm (al buio).

Anche la curvatura del cristallino può essere regolata tramite un'azione muscolare. In questo modo, l'occhio è in grado di mettere a fuoco oggetti posti a varie distanze da esso: una persona dotata di vista normale può focalizzare oggetti tra l'infinito e la *distanza minima di visione distinta*, il cui valore è di circa 20÷25 cm. Il processo di messa a fuoco è detto *accomodamento*. Da queste considerazioni possiamo riassumere le caratteristiche ottico-meccaniche del "nostro" telescopio biologico, l'occhio umano, Fig. 32.

montatura = altazimutale
D (diametro max pupilla) = 7mm
F (lunghezza focale, distanza tra retina e pupilla) = 15mm
F/# (rapporto focale) = F/D = 2.143
Scala occhio (senza retina: il CCD) = 206265/F = 13.751 ["/mm]
dimensione singolo pixel retina = 0.0045mm
Scala occhio completa = 13.751 x 0.0045 = **0.062 "/pixel**

Fig. 32 – Caratteristiche e risoluzione angolare del telescopio "occhio umano"

La *sensazione visiva* è il risultato dell'elaborazione da parte dell'occhio stesso e del cervello delle due immagini focalizzate sulle retine dei due occhi. Si è scoperto, infatti, che i segnali elettrici provenienti dai 125 milioni di cellule sensibili della retina vengono fasciati in un numero molto minore di terminazioni nervose che costituiscono il *nervo ottico*; quest'ultimo porterà al cervello il risultato di questa prima elaborazione, il quale provvederà a darci la sensazione visiva.

Gli occhi possono presentare difetti che pregiudicano la corretta visione. Tra questi, i più comuni sono le *ametropie*, la *presbiopia* e l'*astigmatismo*.

Le ametropie sono connesse ad una deformazione dell'occhio lungo il suo asse longitudinale (vedi Fig. 33). Nella *miopia*, l'immagine di un oggetto lontano, da cui provengono quindi raggi luminosi pressoché paralleli, viene a formarsi su un piano anteriore a quello retinico e l'oggetto viene visto sfocato; se, invece, l'oggetto si trova a distanza ravvicinata, esso può ancora essere visto distintamente. La miopia si corregge utilizzando lenti divergenti.

Nell'*ipermetropia* accade esattamente l'opposto: l'immagine si forma posteriormente alla retina e perciò sono gli oggetti vicini ad apparire sfocati. L'ipermetropia si corregge attraverso lenti convergenti.

La presbiopia è una progressiva perdita di elasticità del cristallino che riduce la capacità di accomodamento dell'occhio e, di conseguenza, fa aumentare la distanza minima di visione distinta. La presbiopia si instaura lentamente anche nell'occhio normale a partire dai 40-45 anni, ed è più avvertita dagli ipermetropi (che, come detto, hanno già problemi a vedere da vicino) che non dai miopi. Anche la presbiopia si corregge con lenti convergenti.

L'astigmatismo è un'anomalia della curvatura della cornea la quale, da sferica, tende a diventare cilindrica: i raggi luminosi, allora, non sono più focalizzati in un punto ma lungo un determinato asse e l'oggetto viene visto sfocato indipendentemente dalla distanza a cui si trova. L'astigmatismo si corregge con lenti *cilindriche*.

In ogni caso, mai usare gli occhiali quando si osserva dall'oculare di un telescopio; tramite l'apposita manopola si può adattare la messa a fuoco al proprio occhio correggendo miopia e ipermetropia. Usare gli occhiali, oltre che rendere difficoltosa l'osservazione, può rigare la superficie antiriflesso dell'oculare, come pure le parti dure di quest'ultimo possono graffiare i vostri occhiali!
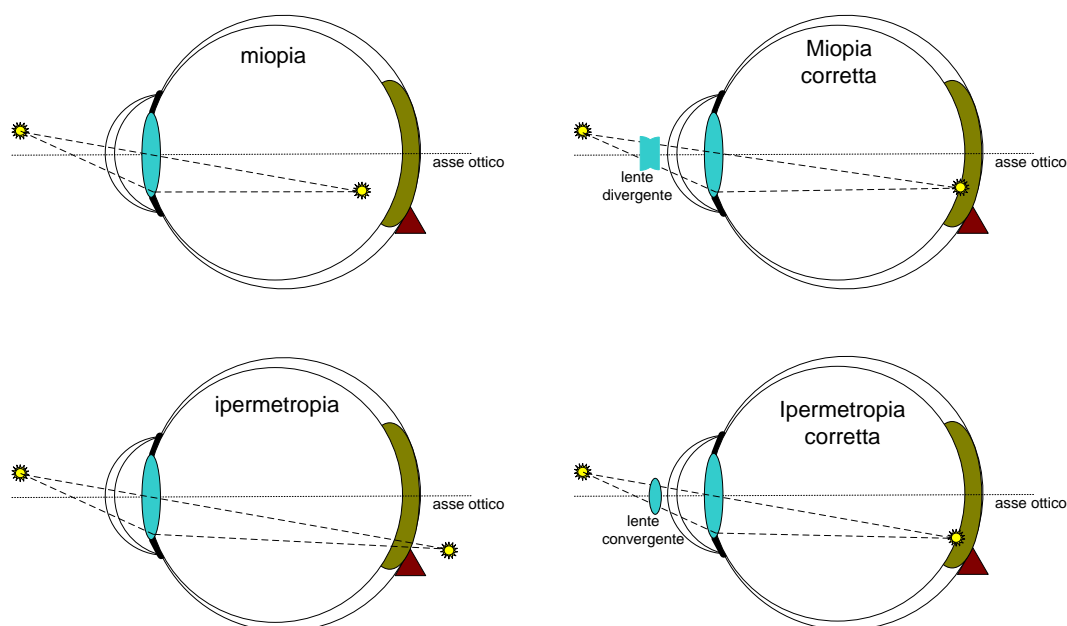
Fig. 33 – Deformazioni del fuoco nell'occhio umano

1.4.2. Generalità sulla Sensazione Visiva

La sensazione visiva è un fenomeno assai complesso che comporta informazioni di diversa natura. Tra di esse distinguiamo:

1) *informazione spazio-temporale*: conformazione degli oggetti nel campo visivo, loro estensione, posizione e movimenti.

2) *informazione luminosa* e *cromatica*: intensità della sensazione di luminosità o brillantezza degli oggetti e loro caratteristiche cromatiche.

Nei limiti di questa trattazione, ci interessa dare qualche elemento sulle informazioni del secondo tipo, studiate dalla *fotometria* e dalla *colorimetria* che costituiscono due settori della *fisica tecnica*.

Una caratteristica fondamentale della visione è che la sensazione di luminosità di un oggetto, sia esso una sorgente (una lampadina, una stella), o un corpo da essa illuminato (un dipinto, una parete), non è proporzionale alla potenza fisica emessa o riflessa dall'oggetto. Per *potenza fisica W* intendiamo l'intensità del campo elettromagnetico che costituisce i raggi luminosi.

Altra grandezza psicofisica è l'*intensità luminosa* che rappresenta il flusso emesso in un angolo solido unitario; si misura in *candele* (cd) e costituisce l'unità di misura primaria della fotometria; la candela è inserita nel Sistema Internazionale (SI) delle unità di misura.

La magnitudine di un corpo celeste è basata proprio sull'intensità luminosa della radiazione dell'astro in questione.

Questi parametri non sono assoluti; la visione è una sensazione "con memoria", ovvero è fortemente influenzata da ciò che si è osservato in precedenza. Il nostro cervello è in grado di adattare la percezione all'intensità globale dello stimolo. Se la luminosità media degli oggetti nel campo visivo è elevata, la soglia di visibilità tende ad aumentare,

mentre se è bassa, la soglia tende a diminuire. Questo adattamento non è istantaneo, ma richiede un certo numero di minuti che dipende dalla differenza tra i due stimoli medi.

Quando si arriva sul campo di osservazione essendo prima passati per luoghi illuminati, si ha una ridotta percezione del cielo stellato; occorre aspettare al buio un pò di tempo per permettere al cervello di adattarsi alle nuove condizioni di luminosità. Se il cambiamento è troppo repentino, si ha un abbagliamento momentaneo; è come quando si esce da un luogo buio verso uno spazio assolato, o quando qualcuno accende improvvisamente una luce nella nostra camera buia appena ci siamo svegliati...

Per questo motivo, durante le osservazioni astronomiche bisogna evitare di accendere luci di qualsiasi tipo; anche una semplice torcia elettrica può disturbare la visione per vari minuti.

La percezione dell'intensità luminosa è, inoltre, legata al *contrasto* presente nel campo visivo; le macchie solari ci appaiono quasi nere perché molto meno luminose del resto del disco solare, ma prese singolarmente sarebbero anch'esse molto brillanti, così come ad occhio nudo vediamo scuri i "mari" della Luna perché contrastati dalle altre zone della superficie più riflettenti, mentre isolati nel campo del nostro oculare gli stessi si rivelano molto più chiari.

Se ricordiamo quanto detto in precedenza, nel nostro occhio vi sono tre tipi di recettori (coni) per tre diverse bande luminose fondamentali: rosso, verde e blu; ognuno viene stimolato in modo differente a seconda dell'intensità della gamma cromatica a cui esso è sensibile. La sensazione risultante dall'elaborazione da parte del sistema nervoso dei tre diversi stimoli è il colore, che è una nostra percezione e non una proprietà fisica della radiazione luminosa. La sensazione del colore verde, per esempio, può essere data da una radiazione pura (monocromatica), oppure da una radiazione costituita da onde nella banda del giallo insieme ad onde della banda del blu. Nel primo caso "verde" è un attributo convenzionalmente dato ad una radiazione in un ben determinato campo spettrale, nel secondo caso è una caratteristica della sensazione visiva.

1.5. Il telescopio

Come molti sanno, il telescopio è quell'oggetto che al pari di un comune cannocchiale ci permette di osservare oggetti che si trovano ad una grande distanza da noi. Se il cannocchiale si presta molto bene all'osservazione dei panorami terrestri, il telescopio è utilizzato per guardare il cielo e per l'osservazione astronomica. Innanzitutto dobbiamo distinguere e classificare i telescopi in due grandi categorie: quella dei telescopi a rifrazione, detti anche rifrattori o telescopi a lenti, e quella dei riflettori. Prima di lasciare posto ad una breve descrizione di ogni categoria, un'ultima citazione: la parola "telescopio", deriva dal greco e significa "vedo lontano".

1.5.1. I Telescopi: rifrattori

Un telescopio a rifrazione (a volte detto anche a lenti) è molto simile ad un comune cannocchiale, con l'unica differenza di presentare all'occhio un'immagine capovolta, non raddrizzata.
Il principio di rifrazione della luce è abbastanza semplice:
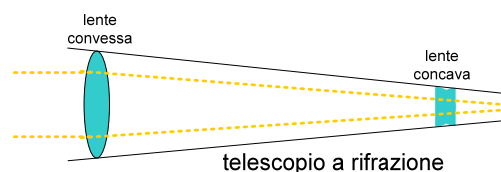
Fig. 34 – Propagazione della luce in un telescopio rifrattore

si utilizzano delle lenti per deviare la luce proveniente dall'oggetto che si desidera osservare, in modo da concentrarla verso un punto fisso, il fuoco. Le lenti sono disposte alle estremità del tubo del telescopio: parliamo di "obiettivo" per indicare quelle che si trovano nella parte rivolta verso ciò che si desidera osservare, mentre con il termine "oculare" si indicano quelle presenti all'altro estremo, dove appoggeremo l'occhio.

Non si hanno informazioni precise sull'origine del telescopio a rifrazione, si sa però con certezza che Galilei ne costruì un esemplare nel 1609, grazie ad alcune descrizioni proveniente dal Nord Europa.

Uno dei principali difetti dei telescopi a rifrazione è dovuto all'aberrazione cromatica che introducono le lenti, inesistente nei telescopi riflettori. Solo nel 1757 J. Dollond realizzò delle lenti di due tipi di vetro diverso, ciascuno dei quali contribuiva a compensare l'aberrazione dell'altro: si parla di lenti acromatiche, di maggiore complessità e costo.

Galileo Galilei (1564-1642)

1.5.2. I Telescopi: riflettori

A differenza dei rifrattori, i telescopi a riflessione fanno uso di alcuni specchi a curvatura paraboloide e/o iperboloide, per riflettere la luce in arrivo sempre verso un punto fisso, il fuoco.
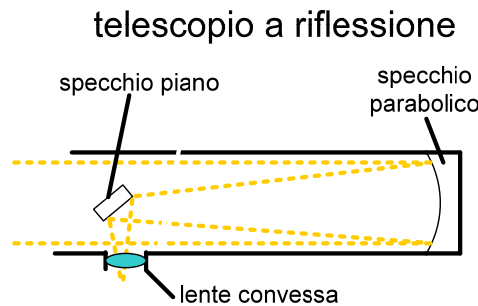
Fig. 35 – Propagazione della luce in un telescopio riflettore

Sono possibili diverse configurazioni, che utilizzano la combinazione di più specchi con diverse curvature, tra le quali probabilmente la più famosa è quella dovuta a I. Newton, che nel 1666 diede una spiegazione al fenomeno dell'aberrazione cromatica, scomponendo la luce in ciò che definì lo spettro dei colori, per mezzo di un prisma. Fu sempre Newton ad avere l'idea di sostituire le lenti con degli specchi, in modo da eliminare l'aberrazione cromatica. Il telescopio a specchi di Newton si compone di uno specchio concavo, situato nella parte inferiore del tubo, che riflette la luce verso uno specchio secondario piano situato nella parte opposta del telescopio. In questo caso l'immagine fuoriesce da un piccolo foro (spesso contenente un oculare) praticato sulla superficie laterale del tubo.

Isaac Newton (1642-1727)

1.5.3. Tipologie, montature e principali caratteristiche

In generale, il tubo ottico del telescopio è sostenuto da una montatura la quale, a sua volta, appoggia su una colonna od un treppiede. La più semplice montatura è **l'altazimutale**: essa permette al telescopio di effettuare i movimenti destra/sinistra ed alto/basso, Fig. 36.
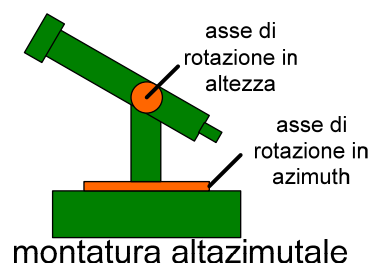
Fig. 36 – Schema per la montatura altazimutale

Il principale problema di questa montatura è che con il solo movimento destro/sinistro non si riesce a controbilanciare il movimento apparente degli astri in cielo. Infatti, guardando attraverso un telescopio, ci accorgeremmo subito che un qualsiasi oggetto uscirebbe inevitabilmente dal campo di vista anche in pochi secondi (con un ingrandimento elevato). Questo fatto è dovuto alla rotazione terrestre che fa muovere apparentemente il cielo da Est verso Ovest. Ecco perciò che il telescopio deve muoversi nel senso Est-Ovest di pari passo con il movimento della volta

celeste per poter tenere inquadrato nell' oculare un qualsiasi oggetto celeste. Con una montatura altazimutale, non solo bisogna ruotare il telescopio nel senso destro/sinistro, ma bisogna opportunamente muovere anche il movimento alto/basso.

Fig. 37 – Esempio di rifrattore su montatura altazimutale e base a treppiede

Questo principale problema della montatura altazimutale non si presenta nelle montature **equatoriali**. Come si può vedere dalla Fig. 38, la montatura altazimutale è stata montata su un piano inclinabile (chiamato testa equatoriale) che rende il telescopio parallelo all'asse Nord/Sud della Terra. Il principio è semplice: se la Terra gira su se stessa facendo perno proprio sull'asse polare che dal polo Sud va al polo Nord e facendo così apparire il cielo ruotare attorno alla Terra stessa, rendendo il telescopio parallelo all' asse polare, sembrerà che il cielo ruoti attorno al telescopio.
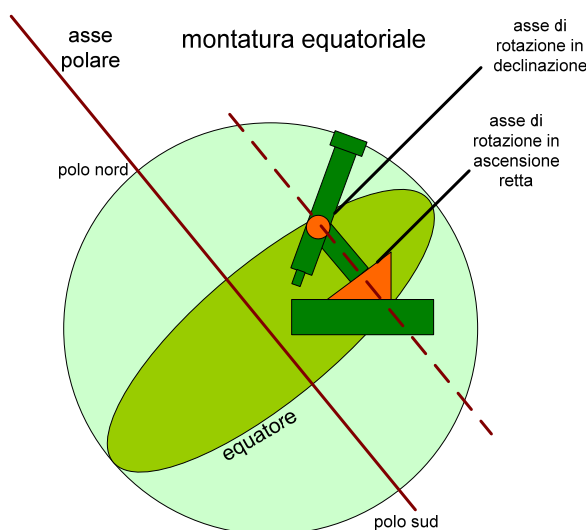
Fig. 38 – Schema per la montatura equatoriale

In questa maniera quello che prima era il movimento destro/sinistro, e che adesso prende il nome di movimento di Ascensione Retta (A.R.), permetterà di seguire il movimento di un qualsiasi oggetto celeste. Montando un motorino sul movimento di Ascensione Retta si potrà addirittura seguire un astro senza bisogno di agire sui movimenti micrometrici di A.R. Ovviamente il telescopio deve essere reso il più possibile parallelo all' asse terrestre con una opportuna operazione che viene chiamata "stazionamento" o “messa in stazione. L'inclinazione del telescopio varia a seconda della latitudine. La montatura equatoriale è presente non solo nella versione a forcella, ma anche "alla tedesca".

Fig. 39 – Riflettore con montatura equatoriale alla tedesca (sinistra, Konus) e a forcella (destra, Marcon)

Da più di dieci anni sono arrivate sul mercato delle montature altazimutali computerizzate: è un computer che governa la montatura e che, dopo un rapido stazionamento (diverso da quello di cui parlavamo poco sopra per le equatoriali), insegue automaticamente un oggetto inquadrato agendo su entrambi i movimenti.

Fig. 40 – Schmidt-Cassegrain su montatura altazimutale computerizzata a forcella (Meade)

Una bella comodità ovviamente che sta pian piano equipaggiando tante varietà di telescopi, sia di fascia economica che di fascia elevata. I grandi telescopi degli osservatori astronomici sono ormai tutti costruiti in altazimutale, perché il costo di una montatura equatoriale sarebbe stratosferico per grandi telescopi. Considerando poi che l'elettronica costa sempre meno si capisce che il risparmio economico è notevole.

Va inoltre osservato come esistano particolari configurazioni di tipo misto, che si pongono a mezza via tra un vero telescopio a rifrazione ed uno a riflessione, presentando la combinazione di specchi e lenti, come ad esempio nel caso dei telescopi catadiottrici Schmidt-Cassegrain.
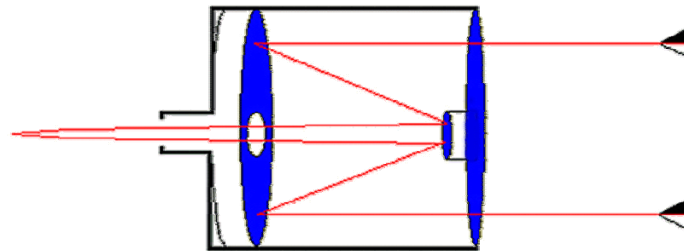
Fig. 41 – Schema ottico di un telescopio catadiottrico Schmidt-Cassegrain

Una combinazione di lente e specchi forma l'obiettivo di questo telescopio. L'immagine, dopo essere passata attraverso la lente montata all'estremità del tubo ottico, raggiunge lo specchio all'altra estremità e qui è riflessa verso il secondario che è sostenuto dalla lente. Il secondario riflette la luce di nuovo verso il centro del primario dove si trova un foro attraverso il quale passa l'immagine che arriva, infine, all'oculare. Anche in questo telescopio, come nel rifrattore, ci si mette dietro al tubo ottico per le osservazioni.

Fig. 42 – Schmidt-Cassegrain su montatura equatoriale alla tedesca (sinistra) e a forcella (destra), (Celestron)

Le caratteristiche ottiche principali di un telescopio sono due:

- il diametro dell'obiettivo
- la lunghezza focale

Più il diametro dell'obiettivo è grande e più il telescopio raccoglie luce; si possono vedere così oggetti più deboli di luminosità, rispetto a telescopi con obiettivi più piccoli. Si riesce inoltre a risolvere meglio i dettagli e perciò a vedere più particolari. Di contro però, con l'aumentare del diametro dell'obiettivo, il telescopio risente maggiormente della turbolenza atmosferica che è sempre presente anche in notti di apparente calma. Per questo motivo spesso succede che con piccoli telescopi si riescano ad osservare più dettagli, specialmente sui pianeti, che con grandi telescopi.

La **lunghezza focale** è la distanza tra l'obiettivo ed il punto in cui si forma l'immagine "a fuoco" di un soggetto posto a distanza "infinita". Dividendo la lunghezza focale per il diametro dell'obiettivo troviamo il valore di f# (rapporto focale) che ci permette di fare delle semplici valutazioni sul tipo di telescopio. Valori di f# compresi tra 4 e 6 sono caratteristici di telescopi con una forte luminosità adatti alla fotografia o all'osservazione del profondo cielo, ma con un'ostruzione (nel caso di Newtoniani o Catadiottrici) elevata; inoltre la lavorazione dello specchio risulta più difficile. Con valori di f# compresi tra 7 e 10 abbiamo telescopi tuttofare adatti sia per gli oggetti deboli, sia per i pianeti. Sopra i 10 troviamo telescopi rivolti principalmente alle osservazioni planetarie.

1.5.4. Potere di raccolta della luce

La capacità del telescopio di rilevare corpi dalla debole luminosità dipende principalmente dalla grandezza dell'obiettivo. Una lente o uno specchio, di 6 cm di diametro raccoglie due volte più luce di una di 4 cm, e una lente di 12 cm raccoglie quattro volte più luce di una di 6 cm. I dati della
Tab. 2 sono approssimativi. Alcuni telescopi possono dare risultati migliori. Il risultato reale dipende, in parte, dalle condizioni di visibilità, dalla qualità dello strumento e dalla vista dell'osservatore.

Tab. 2 – Confronto fra diametro obiettivo, magnitudine limite e numero di oggetti visibili

diametro obiettivo in cm.	minor magnitudine visibile	numero di stelle visibili
2,5	9	117.000
4,5	10	324.000
7	11	870.000
11	12	2.270.000
18	13	5.700.000
28	14	13.800.000
31	15	32.000.000

1.5.5. Potere di ingrandimento

L'oculare di un telescopio devia i raggi di luce in modo da formare sulla retina dell'occhio un'immagine più grande di quella che si avrebbe senza oculare. La grandezza dell'immagine dipende dalla lunghezza focale dell'oculare. Minore è tale lunghezza focale, maggiore è l'immagine. Le focali dei normali oculari di telescopi variano da 6,5 mm a 50 mm.

L'ingrandimento però dipende non solo dall'oculare, ma anche dalla focale dell'obiettivo. Maggiore è la lunghezza focale dell'obiettivo, maggiore è l'ingrandimento ottenuto. Per determinare dunque l'ingrandimento finale che si ottiene, dividiamo la lunghezza focale dell'obiettivo per quella dell'oculare. Per esempio, se la lunghezza focale dell'obiettivo è di 150 cm., un oculare di 1,5 cm darà un ingrandimento di 100 volte.

Mentre in teoria non esiste limite al potere di ingrandimento del telescopio, in pratica tale limite esiste. Usando oculari di minore focale, l'immagine, anche se più grande, è sempre meno nitida così che il soggetto si vede meno distintamente che a una focale più grande.

Il limite reale di ingrandimento dipende principalmente dal diametro dell'obiettivo. Nei telescopi migliori il limite è **circa 20 volte il diametro dell'obiettivo** misurato in centimetri. Questo vuol dire 150 volte per un telescopio di 7,5 cm, oppure 300 volte per uno di 15 cm. Acquistando maggior familiarità con il proprio telescopio, l'osservatore vedrà che il limite di ingrandimento varia. Il numero esatto dipenderà in parte dalle condizioni atmosferiche.
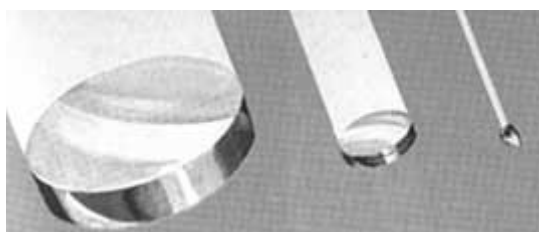
Fig. 43 – Obiettivi da 15cm, 50mm e l'occhio umano; la luce raccolta proporzionale alla superficie

1.5.6. Potere di risoluzione

Il potere di risoluzione di uno strumento ottico è la sua capacità di distinguere nitidamente punti vicini dell'oggetto in esame. Per calcolare empiricamente il potere di risoluzione teorico di un obiettivo si divide il numero 105 per il diametro dell'obiettivo in millimetri. Il risultato (conosciuto come il "limite di Dawes") è la distanza minima fra due corpi misurata in secondi di grado.

Una buona lente di 7 centimetri dovrebbe separare oggetti distanti tra loro circa 1,5 secondi d'arco. L'occhio umano, in condizioni favorevoli, può distinguere stelle che sono distanti tra loro 180". La capacità di un obiettivo dipende dalla qualità del vetro, dalle superfici ottiche, dalle condizioni atmosferiche e dal giusto allineamento del telescopio.

1.5.7. Cerchi di declinazione e ascensione retta

Molti telescopi equatoriali sono forniti di cerchi di declinazione e ascensione retta. Con essi possiamo usare direttamente le coordinate se il telescopio è stato orientato in modo corretto. Il cosiddetto cerchio orario corrisponde all'ascensione retta e vi compaiono ore e minuti. L'altro cerchio, che indica la declinazione, porta i gradi e primi.

Illustriamo come usare i cerchi: supponiamo che cerchiate il debole ammasso stellare M13 in Ercole. Il vostro atlante stellare indica che Vega è la più vicina stella grande; quindi usate Vega come punto di riferimento. La carta dice:

Nome	A.R.	Dec
Vega	$18^h\ 35^m$	+ 38° 44'
M13	$16^h\ 40^m$	+ 36° 33'

Calcolando la distanza di M13 da Vega si ottiene 2° 11' di declinazione Sud, e $1^h\ 55^m$ in AR Ovest. Adesso mettete Vega al centro del campo e bloccate l'asse A.R. Guardando il cerchio di declinazione, muovete il tubo di 2° 11' verso Sud. Poi bloccate l'asse di declinazione e liberate l'asse A.R. Guardando il circolo orario, muovete il tubo verso Ovest di $1^h\ 55^m$. Così dovreste arrivare a M13.

Di solito questo è il metodo più semplice per portare l'oggetto desiderato nel campo di un oculare poco potente, per esempio uno di 25 mm. Se il telescopio è puntato bene, si può usare un potere d'ingrandimento maggiore.

Un altro modo per usare i cerchi è l'uso del tempo siderale. Il tempo siderale (TS), in qualsiasi momento, è uguale all'A.R. di qualsiasi stella che si trovi sul meridiano dell'osservatore (il famoso meridiano locale) in quel momento. Per determinare il tempo siderale, scegliete una stella che vi sia familiare, vicina all'equatore, di cui conoscete la A.R. La stella dovrebbe essere un pò a Est del meridiano. Puntate il telescopio a Sud e bloccatelo sulla declinazione della stella.

Osservate il campo visivo e attendete pazientemente l'ingresso della stella in esso, e quando la stella è al centro, regolate un orologio con la A.R. della stella. Questo servirà da orologio siderale. Quando i cerchi sono ben regolati, il cerchio A.R. segnerà 0^h quando puntate il telescopio a Sud. Poi, per trovare qualsiasi stella, cercate solo la distanza della stella dal meridiano: cioè, il suo angolo orario (HA), Est o Ovest. Lo HA può essere ottenuto calcolando la differenza tra il TS e la AR della stella (ricordate ! il tempo siderale è da 0 a 24 ore). Se AR è più grande di TS, HA si trova a Est del meridiano, (in pratica l'astro deve ancora transitare sul vostro meridiano). Se TS è più grande di AR, HA si trova a Ovest del meridiano, (l'astro ha già passato il vostro meridiano).

Supponiamo che vogliate osservare la stella Algebra nella costellazione del Leone. Essa ha le seguenti coordinate: AR $10^h\ 17^m$, Dec 20° 06'. Supponiamo che il TS sia di $07^h\ 37^m$. Poiché AR è maggiore di TS, sottraete TS da AR e otterrete HA $2^h\ 40^m$ a Est del meridiano. Adesso presumiamo che TS sia $13^h\ 50^m$, cioè $3^h\ 33^m$ più grande di AR. La stella, a quella distanza, è ad Ovest del meridiano. Una volta conosciuto l'HA, bloccate il telescopio sulla declinazione di Leonis (+20° 06'); poi sbloccate l'asse AR e girate il tubo a Est o a Ovest (secondo i casi) dell'angolo calcolato sul cerchio AR: ed ecco Algeba.

Si può adottare un altro metodo per cercare un astro, se il telescopio ha un cerchio orario mobile, marcato da 0^h a 24^h . Fissate una stella grande al centro del campo. Girate il cerchio fino a indicare il suo AR. Per trovare l'astro, girate il telescopio finché il cerchio indica l'AR di questo corpo.
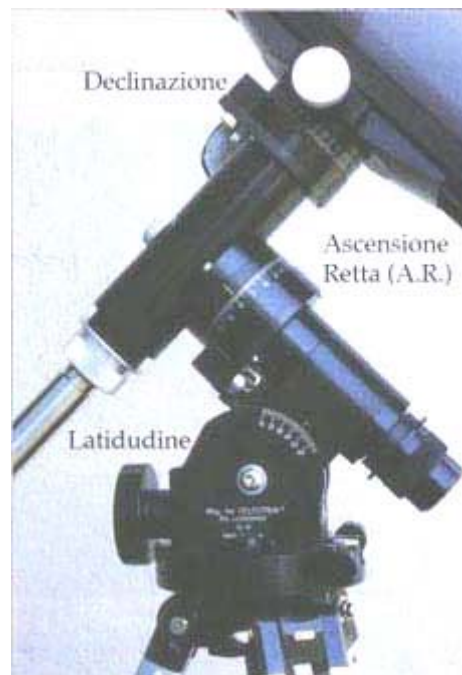
Fig. 44 – Cerchi di posizione su montatura equatoriale alla tedesca

1.5.8. Filtri colorati

I filtri colorati hanno lo scopo di permettere il passaggio solo di alcuni colori della luce che proviene dall'oggetto osservato. In taluni casi sono indispensabili per distinguere certi dettagli, aumentando i contrasti naturali.

I filtri trasmettono solo il proprio colore; così un filtro rosso lascerà passare solo il rosso, e gli altri colori, come il verde o il blu, appariranno molto scuri. Poiché i filtri assorbono parte della luce, si possono usare per diminuire il bagliore del cielo quando, ad esempio, si osserva Venere di giorno. Filtri rossi, verdi e blu sono ottimi per i contrasti.

Un oculare solare ha un filtro di vetro molto scuro; per i pianeti, si possono realizzare filtri di vetro ottico colorato, oppure si possono approntare con fogli di gelatina per filtri. Per fare un filtro, svitate il cappuccio dell'oculare e tagliate un pezzo del foglio di gelatina, della misura necessaria. Poi riavvitate il cappuccio abbastanza stretto per tenere fermo il filtro, ma non tanto stretto da raggrinzarlo.

Filtri di gelatina sono perfettamente sicuri per la Luna, le stelle e i pianeti. NON usateli quando guardate il Sole attraverso il telescopio.

Per la Luna, i filtri neutri riducono il bagliore. Filtri polarizzati o Polaroid, riducono l'intensità della luce dello sfondo, quando osservate di giorno. Per i pianeti, usate filtri rossi, verdi e blu.

1.5.9. Gli oculari

La maggior parte dei telescopi astronomici è fornita di tre oculari. Se ne include un quarto per osservazioni terrestri, dato che gli oculari celesti invertono le immagini; l'oculare terrestre non si usa per osservazioni celesti, perchè le lenti addizionali necessarie per raddrizzare l'immagine riducono notevolmente la quantità di luce che l'occhio riceve.

Nel portaoculare del tubo ottico del telescopio c'è un tubo metallico in cui si inserisce l'oculare. Si muove l'oculare, avanti e indietro, fino a trovare la posizione che dà l'immagine più chiara e nitida.

I principianti hanno il difetto di usare troppo spesso un oculare molto potente. Gli osservatori esperti sanno che l'ingrandimento non è la cosa più importante e scelgono l'oculare più adatto per ogni tipo di lavoro.

Usate un oculare poco forte, se volete un vasto campo visivo; preferite un piccolo ingrandimento per spaziare su vaste aree del cielo (come quando si cercano comete e novae) e anche quando guardate vasti ammassi stellari come le Pleiadi, o ancora quando guardate tutta la Luna nel suo insieme e non una sola parte. E' preferibile usare un ingrandimento piccolo anche per cercare un corpo di debole luminosità che si conosce poco. Si può poi sostituire l'oculare con uno più potente dopo aver inquadrato il corpo che si cercava. E' necessario un forte ingrandimento per separare stelle doppie molto vicine, per vedere i dettagli lunari, i particolari dei pianeti e per distinguere stelle singole in ammassi chiusi. L'oculare potente, infatti, tende a scurire lo sfondo e ci aiuta a vedere corpi poco luminosi. Però, usando sempre un oculare forte, i dettagli, come abbiamo già detto, perdono chiarezza.

Sono stati progettati oculari speciali per l'osservazione diretta del Sole senza incorrere in alcun pericolo. Un accessorio che molti osservatori hanno trovato veramente soddisfacente è la cosiddetta lente di Barlow. La si usa

combinata a qualsiasi oculare per aumentare l'ingrandimento. Nello stesso tempo riduce il campo di osservazione. Un osservatore dovrebbe conoscere il campo visivo dato da ciascuno dei suoi oculari.

Le condizioni atmosferiche pongono dei limiti ai risultati del telescopio; una notte possiamo usare un ingrandimento di 350 per osservare un corpo celeste, e, la notte dopo, il limite può essere di 200 ingrandimenti. Certe sere "separiamo" la stella doppia Castore con 150 ingrandimenti e altre volte si possono avere condizioni tanto sfavorevoli che non bastano 250 ingrandimenti per distinguere l'una dall'altra le due stelle.

Fig. 45 – Una porzione lunare vista da un oculare di scarsa, media e alta potenza

Anche se in parte il telescopio stesso ingrandisce, sono gli oculari, che potremmo definire come delle sofisticatissime lenti di ingrandimento, che hanno il compito di ingrandire l' immagine. Per sapere esattamente quale è l' ingrandimento con cui il telescopio sta lavorando in quel momento, abbiamo detto che bisogna dividere la lunghezza focale del telescopio per quella dell'oculare. Questa di solito la troviamo segnata sull'oculare stesso ed è espressa in millimetri: una scritta del tipo 26 S.P., significa 26 mm di lunghezza focale e schema ottico di tipo Super Plossl (uno tra i migliori schemi ottici per oculari).

Facciamo un esempio:
applicando ad un telescopio con focale di 1 metro (1000 mm) un oculare con lunghezza focale di 25 mm, avremo (1000/25) 40 ingrandimenti, mentre montando un oculare di 10 mm, otterremo invece (1000/10) 100 ingrandimenti.

Gli stessi oculari montati però su un altro telescopio di diversa lunghezza focale, poniamo pari a 1,5 metri (1500 mm), daranno 60 ingrandimenti (per il 25 mm) e 150 ingrandimenti (per il 10 mm).

L' immagine viene molto influenzata dall'ingrandimento. Aumentandolo diminuisce la luminosità del soggetto, nonché il contrasto. C'è perciò un limite all'**ingrandimento massimo** oltre al quale non conviene andare pena uno scadimento eccessivo dell' immagine. Solitamente si usa la formula del "doppio del diametro dell' obiettivo espresso in mm" (del telescopio), cioè con telescopi da 100 mm di diametro non è consigliabile oltrepassare i (100x2=) 200 ingrandimenti. La formula è molto orientativa, perché l' ingrandimento massimo è influenzato dalla turbolenza dell' aria, che è molto più vistosa, quindi limitante, a forti ingrandimenti, ed anche dallo schema ottico del telescopio (soprattutto negli Schmidt-Cassegrain, dove la notevole ostruzione del secondario mal sopporta gli alti ingrandimenti raggiungibili con un telescopio non ostruito).

Penso che tutti abbiate presente quelle lampade con braccio snodabile che si montano sulle scrivanie. Esse ci danno un buon esempio di come funziona l' ingrandimento. Tenendole vicino alla superficie del tavolo producono un cerchio di illuminazione piccolo ma molto luminoso, mentre aumentando la distanza, aumenta il diametro della superficie illuminata, ma diminuisce la sua luminosità. Paragonando il cerchio di luce ad un oggetto celeste, ad esempio un pianeta, possiamo vedere che con bassi ingrandimenti otterremo un'immagine piccola, molto luminosa, ed anche ben dettagliata, mentre aumentando l'ingrandimento, oltre a diminuire la luminosità, diminuiranno anche il contrasto ed il dettaglio.

Abbiamo parlato finora di ingrandimento massimo applicabile al telescopio, ma c'è anche un **ingrandimento minimo** oltre il quale non conviene scendere ed è dato dalla divisione del diametro dell' obiettivo (in mm) per 7. Il numero 7 può sembrare un numero magico; in realtà corrisponde al diametro massimo (in mm) della nostra pupilla e per convenzione quindi si considera quest'apertura come quella di riferimento. Per cui, per esempio, con un telescopio da 20 cm di diametro avremo un ingrandimento minimo utile di (200/7) 29.

Il discorso ingrandimenti è un discorso molto complesso. E' difficile dire a priori (come tanti alle prime armi vorrebbero) qual'è per ogni soggetto l' ingrandimento più adatto. Il tipo di telescopio, la qualità del cielo, la turbolenza dell'aria (parametri questi ultimi due che ovviamente cambiano di sera in sera) hanno una grande influenza sull'ingrandimento stesso e comunque sulla resa in generale del telescopio. Come sempre la cosa migliore, e forse anche la più divertente, è quella di provare sempre il proprio parco oculari ogni sera, ed osservare la differenza nella qualità dell'immagine con i vari ingrandimenti.

Ritornando al nostro telescopio, puntandolo di giorno verso il cielo (no verso il Sole!!!) e, osservando l'oculare da una distanza di 40 o 50 cm, vedremo al centro dello stesso un cerchietto luminoso: **la pupilla d'uscita**. Sostituendo l'oculare installato con uno di focale superiore (e cioè con meno ingrandimenti) il diametro della pupilla d'uscita aumenta e di conseguenza aumenterà anche la luminosità dello strumento. Come si calcola il diametro della pupilla d'uscita? Dividendo il diametro utile dell'obiettivo per il numero di ingrandimenti. Nel caso dello strumento

precedentemente esaminato inserendo un oculare di 40mm. troveremo: Focale obiettivo / focale oculare = ingrandimenti = 1.800 / 40 = 45X Diam. obiettivo/ingrandimenti = pupilla d'uscita = 120 / 45 = 2,66mm. Se lo stesso strumento avesse un diametro obiettivo di mm. 320 troveremo che: 320 / 45 = 7,11mm. (pupilla d'uscita risultante). Ogni volta che vorremo sfruttare al massimo la luminosità del nostro telescopio porteremo il diametro della pupilla d'uscita vicino ai 7mm. con l'oculare idoneo. Una pupilla d'uscita maggiore non porterà alcun vantaggio proprio a causa del limite imposto dal nostro occhio.

1.5.10. Gli oculari speciali

In questa categoria rientra la lente di Barlow, una speciale lente che può essere regolata in modo da moltiplicare il potere d'ingrandimento di un qualsiasi oculare fino a 3 volte. Diminuisce il campo visivo e non aumenta il limite di ingrandimento utile, dipendente dall'obiettivo, però, molti osservatori la usano con fiducia. Di solito conviene usarla in condizioni ottimali di qualità del cielo.
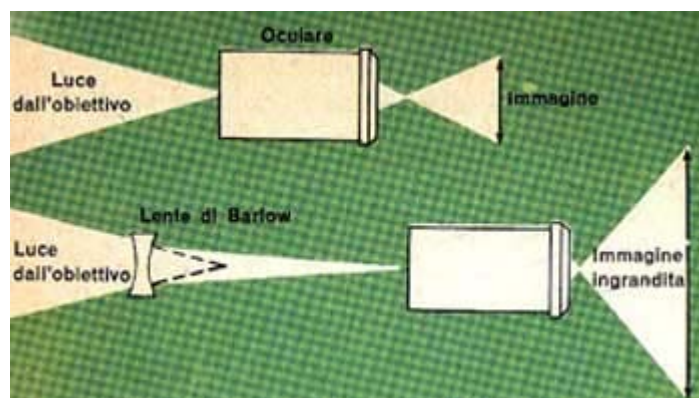
Fig. 46 – Lente di Barlow: l'effetto divergente sulla luce che va dall'obiettivo all'oculare.

1.5.11. Il cercatore

Di solito non è sufficiente puntare direttamente il tubo ottico del telescopio, ma è necessario usare il cercatore. Il cercatore non è altro che un telescopio rifrattore supplementare montato direttamente sul tubo ottico del telescopio principale, (Fig. 47). Poiché ha un campo di vista sensibilmente più grande del telescopio principale (solitamente di 5 o 6 gradi), esso permette di scrutare porzioni più vaste di cielo, individuando con maggiore facilità l'oggetto cercato. Se il cercatore sarà stato allineato esattamente con il tubo, un oggetto al centro del cercatore si troverà anche al centro dell'oculare del telescopio principale. L'operazione di allineamento dei due telescopi è un'operazione delicata e conviene effettuarla in due *step*: nel primo puntando con il telescopio principale un particolare ben noto (non un oggetto celeste) posto in lontananza; una volta centrato nel campo del telescopio principale si può poi procedere al centraggio con il cercatore operando sulle apposite viti di bloccaggio. Nel secondo step, si potrà procedere iterando l'operazione precedente su oggetti celesti, per i quali si otterrà alla fine una migliore precisione di allineamento. Armatevi di pazienza per quest'operazione e provvedete ad un controllo periodico, in particolare ogni volta che l'intero strumento viene spostato o in caso di urti accidentali.

Dato il grande campo, è facile individuare corpi molto luminosi attraverso il cercatore, ma per corpi di debole luminosità forse sarà necessario il metodo "a *step*". Consultando le carte celesti, prendiamo nota della posizione dell'oggetto rispetto alle stelle più brillanti vicine. Usando queste come indicatori, possiamo avvicinarci all'oggetto cercato. Muovendo il tubo di un telescopio a riflessione, forse sarà necessario girarlo sull'asse longitudinale per tenere l'oculare e il ricercatore in posizione comoda, dipendente dalla vostra statura. Tutti i buoni riflettori sono dotati, di solito, di un tubo girevole. Nei rifrattori la diagonale stellare permette una osservazione comoda in qualsiasi direzione.

Gli osservatori esperti hanno l'abitudine di stimare le distanze celesti in gradi e di usare il Polo celeste come punto di riferimento. Le distanze fra le stelle si possono stimare facilmente con l'aiuto del cercatore.

Una sezione di cielo vista con il cercatore o con l'oculare (del telescopio principale), oltre a essere invertita, è ingrandita. La stessa regione celeste appare diversa se vista a occhio nudo. Il principiante può confondersi, ma con la pratica tutto diventa più facile.

Un'avvertenza ed un consiglio insieme: osservare con il telescopio significa sottoporre i nostri occhi ad una prova; e con il tempo naturalmente imparerete anche a "guardare" meglio. Un buon osservatore non guarda fissamente e a lungo attraverso il telescopio; guarda attentamente, ma per breve tempo. Guardare a lungo e intensamente causa stanchezza e perdita di sensibilità visiva. Un osservatore esperto di pianeti può guardare per metà della notte in attesa di quei pochi secondi in cui la visibilità è abbastanza buona da rivelare qualche dettaglio delicato; ma è essenziale riposare di tanto in tanto gli occhi.
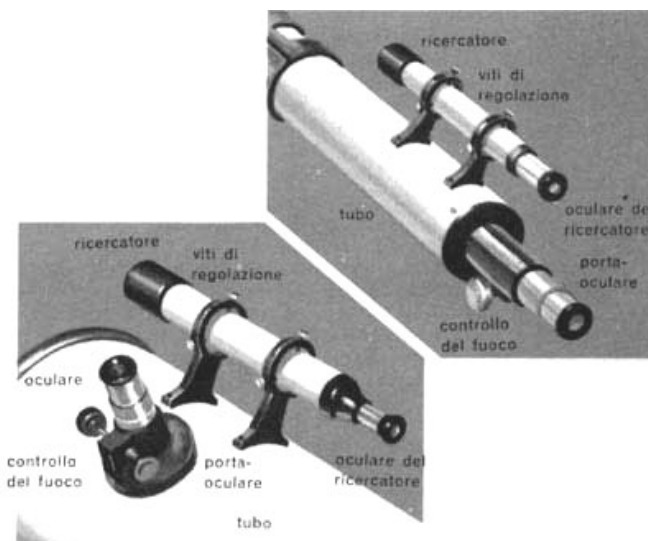
Fig. 47 – Cercatore e oculare di un rifrattore (in alto), di un riflettore (in basso)

Quando guardate attraverso un oculare, tenete aperti tutti e due gli occhi: in questo modo li sottoporrete a una minore fatica. Imparerete presto a concentrarvi su quello che vedete. Mentre cercate un corpo poco luminoso, o dettagli molto attenuati su un corpo celeste, guardate un pò di lato, così userete la parte più sensibile della retina.

Confrontando magnitudini stellari, gli osservatori di stelle variabili tengono presente che l'occhio è particolarmente sensibile al rosso; il rosso si accumula sulla retina come la luce su una pellicola fotografica. Una stella rossa osservata a lungo, sembra diventare più brillante. Infine, non guardate mai il Sole senza le debite precauzioni.

1.6. La collimazione delle ottiche in un telescopio newtoniano

La collimazione delle ottiche dei telescopi è una delle operazioni al contempo più necessarie e più neglette o temute che l'astrofilo medio si trova a dover considerare. Ciò in ragione di una, a volte irragionevole, paura di combinare guai peggiori di quanti se ne vogliano risolvere tentando la collimazione del telescopio. Questo è tanto più vero per i sistemi ottici basati sullo schema di Newton in quanto questa operazione è a volte laboriosa e di incerto successo senza una guida adeguata. Questo stato delle cose è ulteriormente aggravato da due fatti oggettivi, il primo essendo la scarsa seppur esistente documentazione sulla collimazione che accompagna i telescopi newtoniani comunemente disponibili sul mercato italiano ed il secondo è che in quasi nessun caso vengono forniti gli strumenti per effettuare tale operazione.

Questo nonostante la collimazione delle ottiche sia, in pratica, l'unica operazione che consenta una ottimizzazione delle prestazioni della propria ottica.

Quella che segue vuole essere una guida alla soluzione dei problemi della collimazione delle ottiche di un telescopio newtoniano che, sebbene non esaurisca totalmente l'argomento, possa essere utilizzata per produrre dei risultati soddisfacenti lasciando solo il minimo di incertezza su cosa fare e come farlo.

La collimazione di un'ottica (composta da diversi elementi ottici, come lenti, specchi, diagonali e oculari) consiste nel far sì che gli assi di simmetria, che sono anche gli assi ottici di ognuna delle componenti, coincidano tra loro (a rigore ciò non è necessariamente vero, ma per la stragrande maggioranza delle ottiche in uso in campo amatoriale lo è).

A seconda del tipo di ottica l'operazione può variare nelle sue modalità ma il suo significato "geometrico" non cambia: gli assi ottici dei componenti devo essere coincidenti per essere collimati.

Ma perchè è necessario collimare i telescopi Newtoniani? Lo schema tipico della configurazione ottica di telescopio newtoniano e la sua nomenclatura sono mostrate in Fig. 48. I raggi luminosi provenienti da sinistra (con sorgente molto lontana o come si suole dire, "all'infinito") colpiscono lo specchio primario e vengono riflessi verso il secondario, (specchio ellittico piano con asse maggiore inclinato di 45° rispetto all'asse ottico del primario), il quale li devia di 90° verso l'oculare. I raggi luminosi che arrivano dall'infinito ad una certa distanza dall'asse ottico del telescopio si intersecano in un punto detto fuoco, (in questo caso, dello specchio primario), il quale giace su una superficie curva dove tutti i raggi vanno a convergere e che viene chiamato piano focale (anche se a rigore si tratta di una sezione circolare di una superficie sferica). Da notare che l'inserzione della diagonale a 45° (opera questa di Sir Isaac Newton) non rappresenti alcuna modifica alle proprietà ottiche del sistema in quanto un elemento piano riflettivo (inclinato di qualsiasi angolo rispetto alla luce incidente) non contribuisce in alcun modo al potere ottico del sistema complessivo (si dice cioè che l'elemento è neutro otticamente).
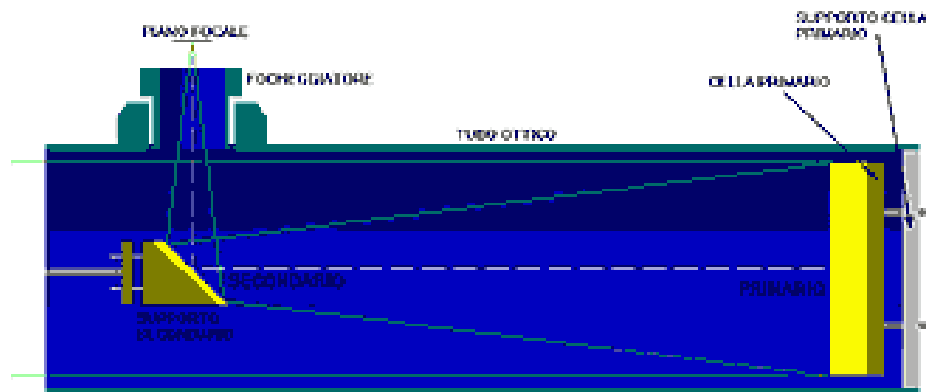
Fig. 48 – Tipico schema ottico di un telescopio newtoniano

Nella Fig. 48 oltre allo specchio primario e secondario sono presenti gli altri componenti del sistema ottico:

1) Il tubo ottico il quale sostiene tutto l'insieme delle ottiche, dei loro supporti e il focheggiatore. Il tubo ottico viene a sua volta montato sul sistema di puntamento ed inseguimento degli astri, la montatura.
2) Il focheggiatore, il quale consente di regolare la posizione degli oculari rispetto al piano focale del telescopio in modo da mettere a fuoco l'immagine
3) Il supporto del secondario e le sue razze, che consentono di regolare sia la posizione che l'inclinazione di quest'ultimo e naturalmente di vincolarlo al tubo ottico
4) La cella di supporto del primario, con analoghe funzione di quelle viste sopra per il secondario

In caso di perfetta collimazione un raggio ideale, che partisse inizialmente collimato con l'asse ottico dell'oculare, verrebbe riflesso a 90° dalla diagonale per raggiungere il centro del primario, essere riflesso da questo su se stesso e ritornare esattamente da dove è partito. Lo schema geometrico di base è raffigurato in Fig. 49.
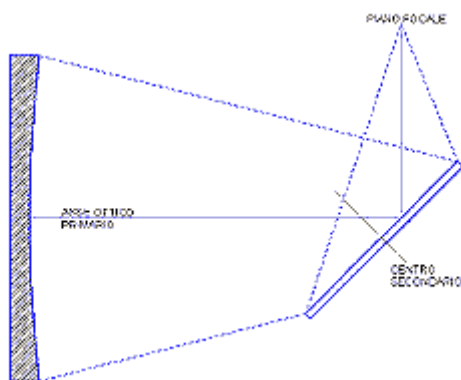
Fig. 49 – Schema ottico geometrico di un telescopio newtoniano collimato

In Fig. 48 l'ottica è mostrata perfettamente collimata mentre una configurazione geometrica di un'ottica completamente non collimata può avere l'asse ottico dell'oculare con un inclinazione diversa dai 90° rispetto all'asse ottico del primario e il secondario un inclinazione diversa dai 45° rispetto sia all'asse ottico del primario che dell'oculare. Inoltre il centro del secondario potrebbe essere spostato rispetto al centro dell'oculare. In generale, quindi, nel caso di non collimazione di un newtoniano un raggio tracciato inizialmente collimato con l'asse ottico dell'oculare non tornerà mai da dove è partito.

1.6.1. La diffrazione

La diffrazione è un tipico fenomeno dell'ottica legato alla natura ondulatoria della luce. Essa sarà tanto più avvertibile quanto più piccola è la pupilla di ingresso del sistema ottico. Un oggetto puntiforme produce per diffrazione una figura che viene detta disco di Airy in cui l'illuminamento si distribuisce in questo modo.
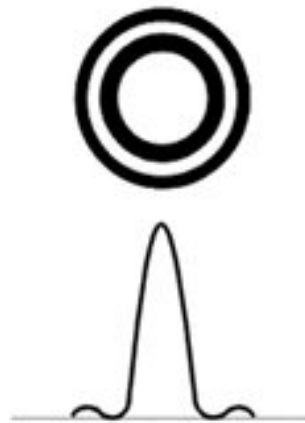
Fig. 50 – Schema 2D degli anelli di diffrazione di un'immagine ideale (disco di Airy)
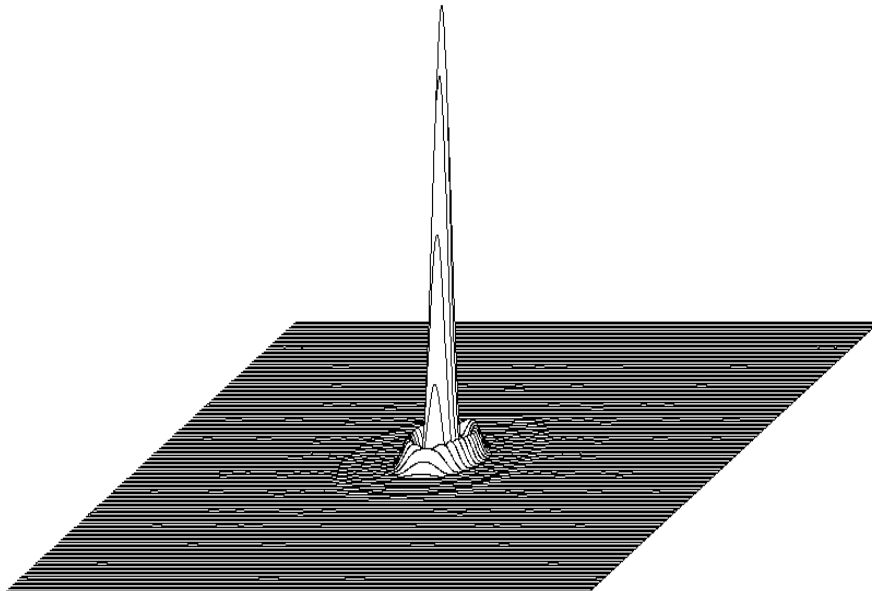
Fig. 51 – Schema 3D degli anelli di diffrazione di un'immagine ideale (disco di Airy)

La dimensione del disco di Airy può essere ricavata dalla seguente formula che ci fornisce il raggio del disco (cioè dal massimo fino al primo minimo) in radianti

$$\vartheta_A = 1.22 \cdot \frac{\lambda}{a}$$

dove λ è la lunghezza d'onda del segnale luminoso mentre a è la dimensione della pupilla d'ingresso. Nel caso della visione umana possiamo considerare λ=555 nm (massimo di sensibilità dell'occhio) mentre *a* coincide con la misura della nostra pupilla. Ad esempio quando la pupilla ha una dimensione di 1 mm ne segue che:

$$\vartheta_A = \frac{1.22 \cdot 0.000555}{1} = 0.0006771\,rad = 0.039° = 2.3'$$

mentre per una pupilla di 2.5 mm si ha

$$\vartheta_A = 0.93'$$

1.6.2. Il criterio di Rayleigh

Se si hanno due oggetti puntiformi vicini la diffrazione può fare si che le immagini si confondano e non sia possibile distinguerli. Il criterio di Rayleigh stabilisce che due punti sono distinguibili se la loro distanza è uguale o superiore al raggio del disco di Airy. Quindi, in accordo con il criterio di Rayleigh, in un sistema limitato per diffrazione due punti possono essere risolti se la loro separazione angolare Δθ è pari al raggio del disco di Airy visto precedentemente, cioè

$$\Delta\theta = \frac{1.22\lambda}{D} rad$$

In pratica, lavorando sempre nella zona del picco di sensibilità dell'occhio umano, si va da un potere risolutivo di Δθ=1.15' per una pupilla di 2 mm fino a un Δθ=0.29' per una pupilla di 8 mm (in un sistema limitato esclusivamente dalla diffrazione. Se il nostro occhio fosse affetto solamente dalla diffrazione ne risulterebbe un andamento lineare della nostra capacità di discriminare 2 punti vicini all'aumentare delle dimensioni della pupilla. In realtà quando la pupilla diventa più grande di 1.5 mm cominciano a contare anche le varie aberrazioni e di conseguenza il comportamento del nostro sistema visivo si discosta da quello previsto per la sola diffrazione, peggiorandone le prestazioni. Il valore ottimale del diametro pupillare viene così da alcuni autori valutato essere circa 3.2 mm.

1.6.3. Le aberrazioni ottiche

Se quelle descritte sopra sono le condizioni (generalizzate) di un'ottica newtoniana completamente non collimata, quali sono le conseguenze dal punto di vista delle prestazioni del sistema? Per avere questa risposta è necessaria qualche rispolverata di teoria dell'ottica geometrica. Per far questo si considera come sufficientemente buona approssimazione la teoria delle aberrazioni ottiche sviluppate nella seconda metà dell'Ottocento da vari ottici e maggiormente da Seidel. Si intendono "aberrazioni" tutte quelle distorsioni dell'immagine che si possono avere quando i raggi luminosi che la compongono (o più esattamente le onde elettromagnetiche) attraversino un sistema ottico. Nella trattazione che segue si farà uso della convenzione di considerare i raggi luminosi che compongono un'immagine non come un pacchetto d'onde elettromagnetico ma come delle particelle che viaggino in linea retta da un punto all'altro dello spazio e che possano essere deviate quando incontrano ostacoli solidi.

Tralasciando i pur necessari (per una trattazione rigorosa) passaggi matematici si può dire che un'ottica newtoniana (composta cioè da un singolo elemento riflettivo con potere ottico non nullo) "perfetta" soffre di zero aberrazioni sul suo asse ottico. La qualità dell'immagine è quindi limitata solo dalla diffrazione della luce e il diametro minimo che un punto luminoso assumerà sul piano focale (il luogo geometrico dove tutti i raggi luminosi vengono concentrati dallo specchio primario) sarà definito dalle leggi dell'ottica diffrattiva (altrimenti detta ondulatoria).

Questo naturalmente solo in teoria, in quanto nella pratica non esiste un'ottica perfetta. Il difetto che si riscontra più sovente negli specchi (come nelle altre ottiche) è il fenomeno dell'aberrazione sferica, ossia la deviazione complessiva che la geometria reale dello specchio impone ai raggi luminosi (la cui totalità forma quello che si chiama fronte d'onda) dalla forma puramente sferica. L'aberrazione sferica (piccola o grande che sia) è una proprietà della particolare realizzazione di ogni ottica, caso per caso, e non può essere modificata agendo sul telescopio. Essa si presenta come un accrescimento dell'intensità luminosa degli anelli di diffrazione a spese della luminosità del punto centrale (disco di Airy).
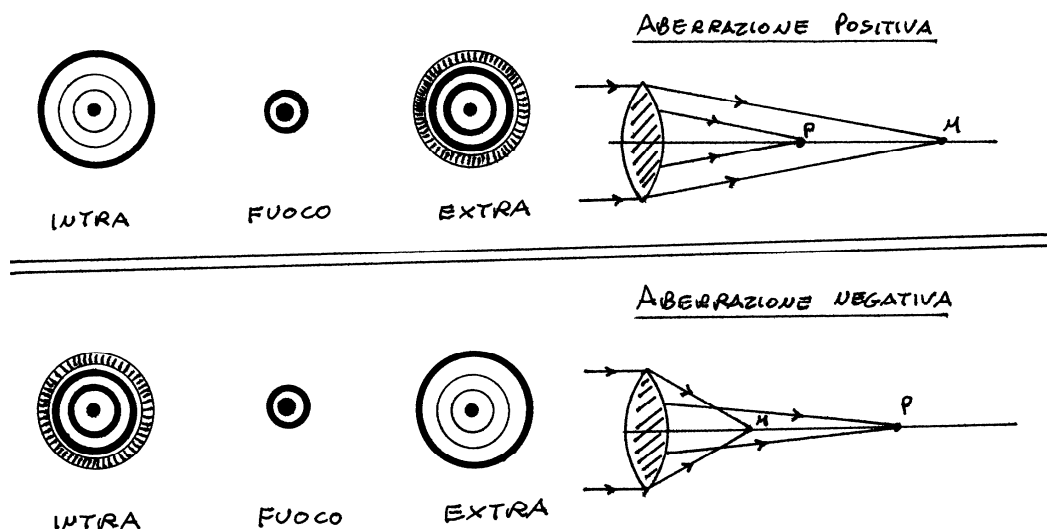
Fig. 52 – Tipologie di aberrazione sferica

L'aberrazione sferica è un difetto molto comune (e nocivo) fra i telescopi commerciali. L'aberrazione sferica diminuisce il contrasto delle immagini privandole dei dettagli fini. Come riportato in figura la sferica è dovuta al fatto che parti diverse dell'obiettivo (a simmetria concentrica) focalizzano la radiazione in punti diversi. La sferica può essere positiva o negativa. Nel primo caso l'anello esterno della figura intrafocale è molto più intenso degli altri, mentre quello extrafocale è molto più diffuso. Succede il contrario nel caso di aberrazione sferica negativa.

In teoria i telescopi a specchio tipo Newton, dotati di un obiettivo parabolico, dovrebbero essere esenti dalla aberrazione sferica perchè il profilo a parabola concentra tutta la radiazione in un unico punto (il fuoco). In pratica le ditte commerciali trovano più comodo (costa di meno) lasciare gli specchi sferici (o parabolizzare in modo approssimativo), specie nei modelli più economici. Ovviamente uno specchio sferico è affetto da aberrazione sferica per definizione. La presenza dello specchio parabolico di solito è dichiarata esplicitamente nella documentazione che accompagna il telescopio.

Questo difetto diminuisce la percezione del contrasto nei dettagli (tipicamente planetari) a media ed alta risoluzione, diminuisce la percezione dei dettagli fini ed infine (se molto accentuata) rende qualsiasi immagine completamente sfuocata. Altri difetti dovuti alla lavorazione dello specchio e presenti sull'asse ottico (ovvero invarianti rispetto all'angolo di campo reale sotteso) sono gli errori zonali (variazione locale di curvatura dovuta ad avvallamenti o depressioni sulla superficie dello specchio), la rugosità superficiale e i bordi piegati (all'indietro od in avanti). Sebbene questi errori esistano, essi risultano in genere meno gravi ai fini della resa finale dell'immagine di quello dell'aberrazione sferica.

Fuori dall'asse ottico del primario però le cose vanno diversamente e anche in caso di un'ottica perfetta si riscontrano due aberrazioni di importanza fondamentale: Il coma e l'astigmatismo. Entrambe degradano significativamente la qualità dell'immagine ed entrambe sono inevitabili a meno di usare ulteriori elementi correttivi (tipicamente lenti).

L'aberrazione extrassiale di gran lunga più importante (nel senso che è quella più appariscente) nei telescopi newtoniani è quella denominata coma, la quale si rivela attraverso immagini stellari con apparenza cometaria, ovvero con un piccola "coda" che si proietta verso il bordo dell'oculare. L'astigmatismo si manifesta invece come una ovalizzazione dell'immagine stellare fino a raggiungere, nei casi più estremi, l'aspetto di un segmento di retta, Fig. 53.

Fig. 53 – Fronte d’onda di un’immagine affetta da coma (sinistra) e astigmatismo (destra)

Mentre il coma cresce al crescere dell'angolo sotteso in maniera lineare e in maniera direttamente proporzionale al cubo dell'inverso del rapporto focale e alla lunghezza focale dello strumento, l'astigmatismo cresce proporzionalmente al quadrato del campo sotteso e proporzionalmente all'inverso del quadrato del rapporto focale e alla lunghezza focale dello strumento. Esprimendo il tutto in formule:

$$S.II = 1/32 * ((1/R.F.)^3) * F) * alfa$$
$$S.III = 3/16 * ((1/R.F.)^2) * F) * alfa^2 ,$$

essendo S.II l'aberrazione legata al coma e S.III quella legata all'astigmatismo. Nelle espressioni di cui sopra alfa è il semiangolo del campo reale inquadrato espresso in radianti, F la lunghezza focale espressa nell'unità di lunghezza e R.F. il rapporto focale del telescopio.

Uguagliando le espressioni precedenti per il coma e l'astigmatismo si trova facilmente qual è l'angolo per cui il secondo diventa più grande del primo. Questo angolo è in genere, per le ottiche newtoniane in uso in campo amatoriale, sufficientemente grande da poter ignorare l'astigmatismo rispetto al coma per tutti i casi reali.

Oltre alle tre aberrazioni descritte sopra, dette aberrazioni di Seidel del terzo ordine, ne esistono altre due, dette del primo ordine o gaussiane, che sono lo sfuocamento (defocus) e rotazione (tilt). In pratica esse consistono nello spostamento della posizione dell'immagine (traslazionale e rotazionale) rispetto al fuoco ideale. Entrambe sono correggibili nel senso che basta riposizionare i vari elementi ottici per eliminarle. Usando il focheggiatore infatti si corregge la posizione longitudinale (defocus) mentre con la collimazione si corregge il secondo (tilt).
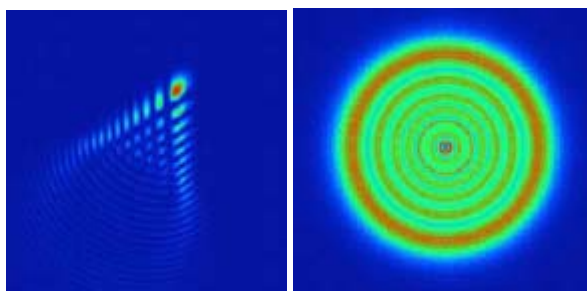
Fig. 54 – Fronte d’onda 2D di un’immagine affetta da tilt (sinistra) e defocus (destra)

Vediamo adesso gli effetti della non collimazione delle ottiche newtoniane alla luce di quanto detto sopra per le aberrazione tipiche dei newtoniani. Per rendere le cose più semplici sarà opportuno suddividerne gli effetti a seconda della tipologia.

1.6.4. Effetti ottici su telescopi non collimati

Un primo effetto indesiderato della non collimazione delle ottiche (**primo tipo**) si ha quando l'asse ottico dell'oculare è centrato rispetto al secondario ma non rispetto al primario, Fig. 55.
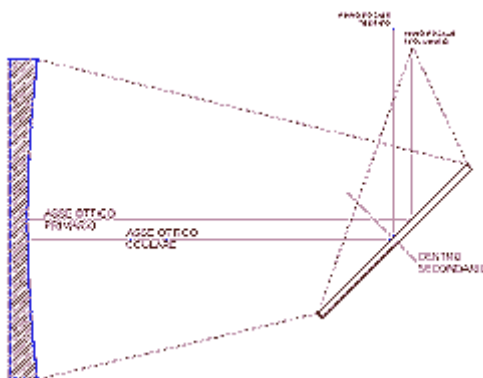
Fig. 55 – Asse ottico dell’oculare non centrato rispetto al primario

Da notare che, per costruzione, il sistema è perfettamente centrato geometricamente rispetto al focheggiatore cosicché tale configurazione potrebbe passare per perfettamente collimata. In realtà la posizione del secondario, per essere corretta otticamente, NON deve essere centrata né rispetto al centro del focheggiatore né rispetto al centro del primario. Questo perché il bordo più lontano dal piano focale del secondario (che è ellittico) intercetta i raggi provenienti dal primario ben prima del bordo più vicino.

Questo stato di non collimazione conduce ad un decadimento delle prestazioni complessive del sistema più o meno accentuato per le seguenti ragioni: gli oculari sono progettati per dare il massimo delle proprie prestazioni sul loro asse ottico e al di fuori presentano un più o meno marcato decadimento legato in genere all'aumento dell'astigmatismo e della distorsione di campo. Come si è visto precedentemente un'ottica newtoniana soffre di coma (e astigmatismo in seconda misura) al crescere del campo dell'immagine e, siccome i due assi sono disallineati, il massimo delle prestazioni dell'ottica principale andrà a cadere in un punto dove l'oculare incomincerà a fornire immagini imperfette ed al centro dell'oculare, dove le sue prestazioni sono al massimo, l'ottica primaria incomincerà a soffrire sia di coma (maggiormente) che di astigmatismo.

Naturalmente questo in parte dipenderà dalla bontà degli oculari a disposizione. Si tenga presente però che ad alti ingrandimenti la pupilla di ingresso dell'oculare (la parte dell'oculare che "guarda" l'immagine fornita dal telescopio sul piano focale) è molto piccola e potrebbe capitare che l'asse ottico del primario capiti addirittura completamente fuori dall'oculare.

La centratura tra asse del focheggiatore (ovvero, in ultima analisi, l'asse dell'oculare o di qualsiasi gruppo ottico inseritovi) e asse ottico del telescopio (leggi asse del primario riflesso) è infine quasi vitale per le prestazioni delle lenti di Barlow, le quali possono produrre un coma evidente se l'asse ottico primario non è perfettamente centrato e parallelo con il loro asse ottico.

La conseguenza maggiore di questo tipo di non collimazione è fondamentalmente quella di poter falsare la procedura generale di collimazione e indurre un errore di collimazione del secondo tipo descritto di seguito.

Il **secondo tipo** di non collimazione si verifica quando l'asse ottico dell'oculare è centrato rispetto al secondario ed il secondario è centrato rispetto al primario.
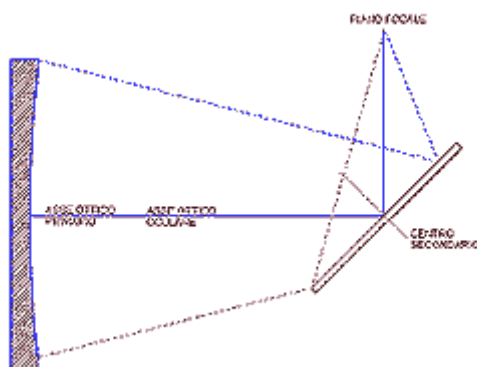
Fig. 56 – Asse ottico dell'oculare centrato rispetto al secondario e questo è centrato rispetto al primario

Questo tipo di configurazione geometrica a rigore non è considerabile non collimata, in quanto, come si vede dalla Fig. 56, l'asse ottico del primario viene riflesso in maniera da essere coincidente con l'asse ottico dell'oculare. Tuttavia essa porta, rispetto alla configurazione di "reale" collimazione, alla conseguenza di vignettare il campo di piena illuminazione con una conseguente perdita di frazioni di magnitudine resa all'oculare. Questo effetto è, in prima approssimazione, non dipendente dal rapporto di ostruzione del secondario, ma solo dal rapporto focale del telescopio.

Per avere un'idea dei numeri in gioco si tenga presente che con un telescopio f/5 così collimato, con il 35% di ostruzione si ha una perdita di luminosità pari a circa 0.17 magnitudini, mentre con lo stesso telescopio, ostruito al 20%, la perdita è di 0.16 magnitudini. Trascurando questi effetti si può dire che una tale collimazione, se presente, è in genere accettabile ma difficile da ottenere partendo da uno stato di non collimazione più generale. La procedura generalizzata descritta nei paragrafi seguenti porterà ad una collimazione più efficiente di quella ottenibile centrando i componenti come appena descritto.

Un **terzo tipo** di non collimazione si genera nel caso in cui il secondario è centrato rispetto al primario ma non rispetto all'oculare, Fig. 57.
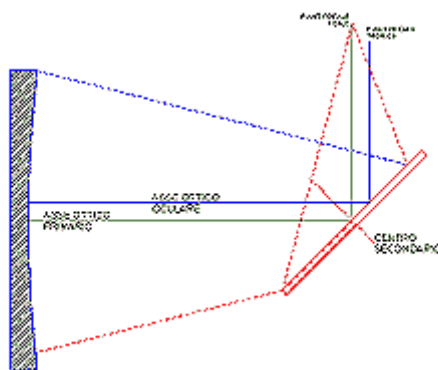
Fig. 57 – Secondario centrato rispetto al primario ma non centrato rispetto all'oculare

In genere con questo tipo di non collimazione si hanno tutti i "difetti" riscontrati nelle prime due tipologie, con eventuale peggioramento della perdita di illuminazione a seconda della posizione del secondario lungo l'asse ottico del primario. E' quindi quella da evitare in maniera assoluta.

Il **quarto tipo** si verifica quando gli assi ottici dell'oculare e del telescopio non sono né coincidenti né paralleli (ma si incontrano in un punto).
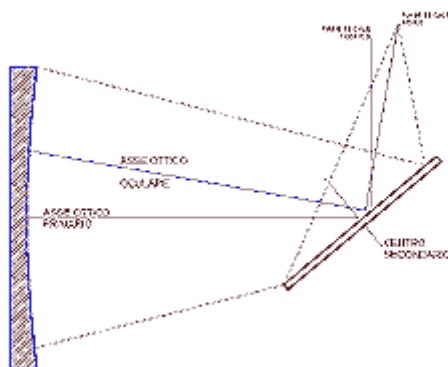
Fig. 58 – Gli assi ottici dell’oculare e del telescopio non sono né coincidenti, né paralleli

In Fig. 58 viene mostrata questa particolare configurazione geometrica. Non solo il centro ottico del secondario non è allineato con gli assi ottici, ma l'asse ottico del secondario è ruotato rispetto all'asse del focheggiatore e l'asse ottico del primario è ruotato rispetto all'asse ottico ideale del secondario. Questa è la configurazione tipica di un'ottica non collimata. Oltre agli eventuali effetti già descritti in precedenza, si aggiungono quelli dovuti al fatto che i raggi luminosi provenienti dal primario (e riflessi verso l'oculare dal secondario) presentano un fronte d'onda inclinato rispetto all'asse dell'oculare. In questo caso l'aberrazione che si presenterà è indipendente dal campo inquadrato e sarà composta da una somma di aberrazioni comatica e astigmatica. Queste si sommeranno a tutte le altre già presenti.

Questo tipo di aberrazione è talmente tipico da essere chiaramente individuabile anche a non altissimi ingrandimenti (in funzione ovviamente degli angoli di non collimazione presenti).

Per dare un'idea di come si presenti questa aberrazione, in Fig. 59 vengono riportate le figure di diffrazione ottenute (calcolate) per angoli di inclinazione tra gli assi ottici del primario e dell'oculare pari a 0 (a), (quindi date da un'ottica perfettamente collimata), 1' (d'arco) (b), 3' (c), 6' (d), 9' (e), 12' (f) e 30' (g) rispettivamente, così come rese da un newtoniano di 150 mm d'apertura a f/5 con un'ostruzione del 34%.

a b c d e f g
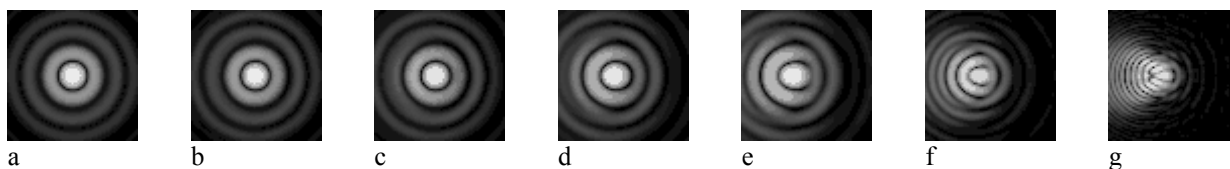
Fig. 59 – Figure di diffrazione per angoli di varia inclinazione tra gli assi del primario e dell’oculare

Lo specchio primario è stato simulato con un’aberrazione sferica residua di 1/8 lambda (lunghezza d'onda della luce incidente), ovvero in termini meno tecnici è limitato soltanto dalla diffrazione. Normalmente una inclinazione da 1' a 3' viene considerata accettabile per l'alta risoluzione con CCD e per l'osservazione visuale planetaria ad alti ingrandimenti, mentre una inferiore a 6' ma superiore a 3' risulta accettabile per le riprese fotografiche e per un'osservazione dei dettagli planetari a ingrandimenti non eccessivi. Con una distorsione del fronte d'onda equivalente a quella generata da inclinazioni tra 6' e 9' dell'asse ottico potrebbe essere accettabile solo per osservazioni visuali a medi e bassi ingrandimenti del cielo profondo. Oltre i 12' il livello di contrasto trasmesso dall'immagine è così degenere (senza considerare le altre aberrazioni che si vanno a sommare) da rendere l'immagine resa dallo strumento sostanzialmente compromessa ed utilizzabile solo ai minimi ingrandimenti e per larghi campi. La resa dell'immagine non sarà superiore a quella ottenibile da un binocolo di qualità medio-bassa.

Mentre le immagini precedenti sono state calcolate con messa a fuoco dell'immagine, quelle in Fig. 60, che presentano gli stessi angoli di inclinazione (tilt), sono state realizzate con uno sfocamento pari a 0.2 mm (ovvero l'immagine viene mostrata come si forma 0.2 mm fuori dal fuoco). Questo per rendere più facile l'identificazione delle aberrazioni presenti dato che l'immagine resa all'oculare è molto più grande e meno affetta dalle condizioni locali di turbolenza atmosferica (seeing) che possono rendere estremamente difficile il riconoscimento dei difetti dell'immagine.

a b c d e f g
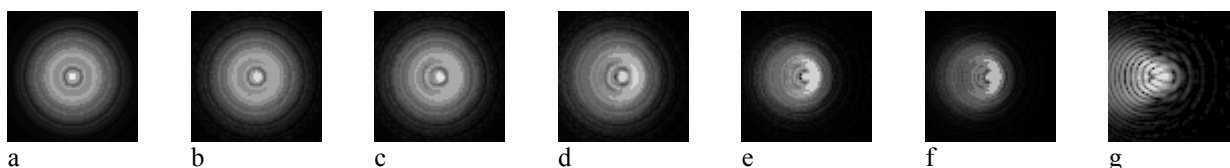
Fig. 60 – Figure di diffrazione precedenti ottenute mediante sfocamento pari a 0.2 mm

Infine le immagini in Fig. 61 sono state calcolate nelle stesse condizioni delle precedenti ma con uno sfocamento di 1 mm, per rendere ben visibile gli effetti di progressivo "schiacciamento" dell'immagine di diffrazione su un lato e il corrispettivo allungamento dall'altro.

a b c d e f g
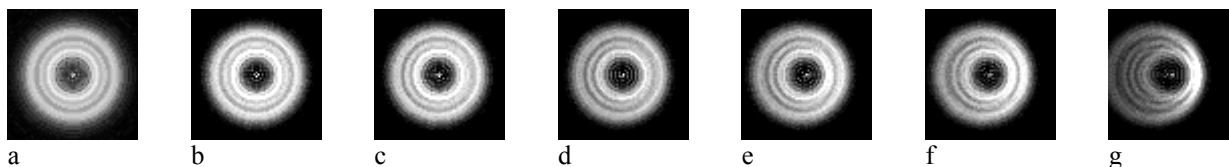
Fig. 61 – Figure di diffrazione precedenti ottenute mediante sfocamento pari a 1 mm

Per dare infine un'idea di quale effetto possa avere la non collimazione delle ottiche, in Fig. 62 sono mostrati fianco a fianco un'immagine di Giove "perfetta" ed una con una non collimazione che produce un errore pari a 1 lambda circa, pari cioè ad una non collimazione di 6-9 arcominuti."

Fig. 62 – Immagine di Giove perfetta (sinistra) e non collimata (destra)

Il **quinto tipo** di non collimazione si riferisce al caso in cui il focheggiatore è inclinato rispetto alla normale alla superficie del tubo ottico. Questo tipo di non collimazione, se accentuata, è particolarmente insidiosa in quanto può portare a falsare le procedure di collimazione nell'erronea supposizione che l'asse ottico dell'oculare sia normale alla superficie del tubo ottico e quindi produrre uno stato di non collimazione del terzo tipo. Piccole variazioni rispetto alla ortogonalità sono accettabili in quanto verranno compensate nella collimazione.

1.6.5. collimazione di un'ottica newtoniana - Istruzioni per l'uso

<u>PASSO 1 - Verificare l'ortogonalità del focheggiatore rispetto al tubo.</u>

Sebbene in genere i telescopi commerciali siano sostanzialmente a posto da questo punto di vista un rapido controllo non guasta ed è molto semplice, necessitando soltanto di una buona livella. Come mostrato in Fig. 63, avendo montato il tubo sulla montatura (equatoriale alla tedesca in figura, ma la procedura è facilmente adattabile a quella a forcella) si operi come segue: ruotare prima il tubo rispetto all'asse di A.R. in modo che tale asse risulti livellato (1); poi ruotare il tubo rispetto all'asse di Dec. in modo che il tubo ottico risulti livellato (2); ed infine controllare che il piano superiore di appoggio del focheggiatore (dove vanno a battuta gli oculari) sia anch'esso livellato appoggiando la livella su tale piano e effettuando la misura due volte, la seconda con la livella a 90° rispetto alla prima, in modo che la livella risulti una volta parallelo all'asse di A.R. e una volta a quello di Dec (3). Se risulta una pendenza significativa (diciamo significativamente maggiore di 10' si potrà procedere ad aggiungere degli spessori ricavati da fogli di nylon a forma di rondella sotto la battuta della base del focheggiatore in corrispondenza delle viti dal lato opposto a quello dove si è visto lo spostamento della bolla. Per misurare lo scostamento dalla normalità si possono mettere degli spessori misurati sotto un lato della base di appoggio sul focheggiatore (3). Conoscendo il diametro esterno della base d'appoggio sul focheggiatore l'angolo di scostamento (in gradi) dalla normale è pari a:

57.3 * Spessore/Diam.Base

1
2
3

Fig. 63 – Fasi di verifica dell’ortogonalità del focheggiatore rispetto al tubo ottico

PASSO 2 - Verificare il centraggio della cella del primario rispetto al tubo ottico.

Questo passo è importante ai fini della regolazione della posizione del secondario. Se per qualche ragione ciò non fosse necessario, si salti direttamente al passo 3. Scopo di questo passo è determinare:

1) Se il primario è centrato nella sua cella
2) Se la cella del primario è centrata nel tubo ottico

In genere questo passaggio non è necessario in quanto questo centraggio è quasi sempre verificato nelle ottiche commerciali. Se però avete delle ragioni di poterne dubitare converrà, una volta estratta la cella di supporto del primario dal tubo, verificare che il primario sia centrato rispetto alla sua cella. Si dovrà anche verificare che i fori delle viti "pull" (quelle che si avvitano sul supporto della cella del primario sul tubo ottico) siano alla stessa distanza rispetto al supporto medesimo. Se le distanze misurate sono piccole (minori di 0.5 mm) e se la vostra ottica è veloce (bassi rapporti focali), potrete trascurare queste deviazioni dalla concentricità senza problemi. Gli effetti saranno minimizzati in corso di collimazione o di start test.

Se le deviazioni dalla concentricità sono dell'ordine dell'offset da dare al secondario o maggiori e la cella è regolabile a sufficienza, (in genere si agisce sui supporti dello specchio primario svitandoli e spostando leggermente lo specchio in maniera da regolare la distanza, Fig. 64a) allora si può procedere alla sua regolazione. Se il decentramento del primario è "parallelo" al focheggiatore, (Fig. 64b), si dovrà convivere con una leggera (o anche pesante, a seconda dei casi) vignettatura del campo di illuminazione del piano focale. Altre conseguenze non ve ne sono. Se invece è normale al piano dell'oculare, (Fig. 64c), bisognerà incrementare/diminuire di eguale quantità l'offset del secondario. Il campo di illuminazione del piano focale, come per il caso precedente, potrà risultare in varia misura vignettato.

a b c
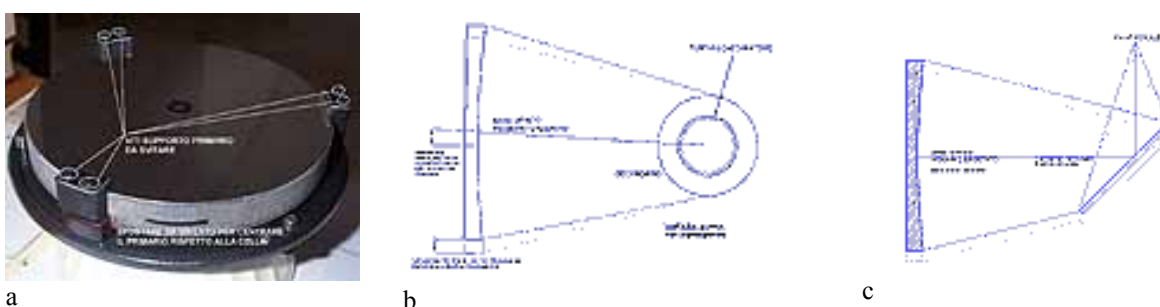
Fig. 64 – Fasi di centraggio della cella del primario rispetto al tubo ottico

PASSO 3 - Offset dello specchio secondario

Come già detto in precedenza, la corretta posizione del secondario risulta essere decentrata sia rispetto all'asse di simmetria del primario sia all'asse del focheggiatore. In questo caso si parla di "offset" o decentramento del secondario. Esso consiste di un eguale spostamento del centro del secondario sia lontano (verso il lato opposto) dal focheggiatore che verso il primario, come illustrato in Fig. 65.
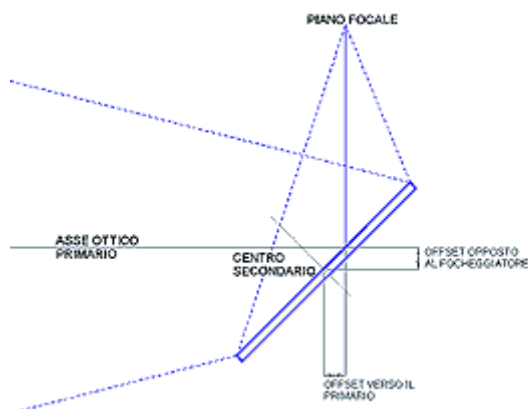
Fig. 65 – Offset dello specchio secondario

Quanto decentramento serve per un corretto posizionamento? La formula esatta per calcolare il decentramento è la seguente:

Offset = (T + (n*L/2))/(1 - n^2) – T

dove:
T = la distanza dal piano focale all'asse del primario (oppure dal centro del tubo ottico)
L = il diametro del campo pienamente illuminato richiesto al piano focale

n = (D - L)/(2*(F - S)), con D diametro del primario, F lunghezza focale del telescopio e S la sagitta dello specchio primario. Quest'ultima può essere calcolata con la seguente espressione approssimata:

S = (D^2)/(16 * F)

Alcune delle quantità richieste per calcolare il valore del decentramento del secondario potrebbero essere di non facile o non esatta determinazione. In tal caso si può utilizzare la seguente formula approssimata:

Offset = Dsec/(4*F.R.), dove Dsec è il diametro (o asse minore) del secondario

Dalle espressioni riportate sopra è facile vedere che per ottiche aperte a f/8 (o valori maggiori) aventi valori di ostruzione ragionevoli (20-25%) il decentramento richiesto è uguale od inferiore ad 1 mm e che quindi l'errore che si commetterà nell'ignorare una delle due componenti (si veda la discussione seguente) è trascurabile.
La prima parte di questa fase di procedura di collimazione consiste nell'aggiustare l'offset ai valori richiesti dalla particolare configurazione del telescopio.

PASSO 4 - Marcatura del centro del primario

Questo passaggio è particolarmente temuto dagli astrofili alle prime armi (e non solo!), ma è invece assolutamente essenziale per ottenere una collimazione impeccabile. Esso consiste semplicemente nel marcare il centro geometrico dello specchio primario con un pennarello o, nella versione più sofisticata, con un anello salvafori nero (o dipinto tale).
Non si deve aver paura che questo possa disturbare la resa del primario perché per le dimensioni in gioco (da pochi millimetri di diametro per una macchiolina sul centro ai circa 13-15 del cerchietto salvafori) queste marcature cadranno entro l'ombra proiettata dal secondario sul primario (si rammenti che noi osserviamo oggetti posti "all'infinito", quindi con raggi che provengono da essi paralleli tra loro), quindi questo "pericolo" non esiste.
Per fare questo bisogna ovviamente smontare il primario dal tubo ottico, cosa questa abbastanza semplice. In genere, nei telescopi commerciali amatoriali di livello medio e di aperture non troppo grandi il primario è montato su una basetta di alluminio (o altro materiale) che svolge sia la funzione di supporto del primario che da cella di regolazione dell'inclinazione dello stesso. Per far questo la cella si aggancia in genere su un supporto sul fondo del tubo ottico per mezzo di una serie di tre coppie di viti (Fig. 66).
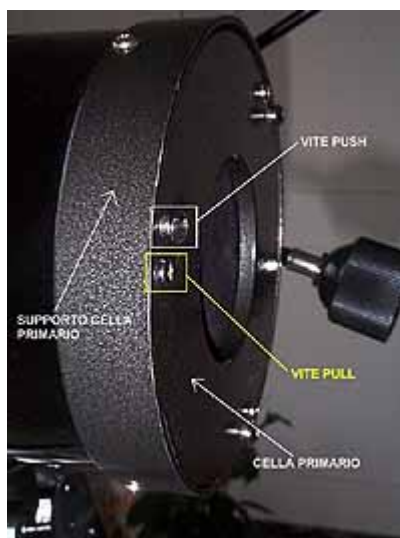
Fig. 66 – Particolare delle viti di regolazione del primario sul fondo del tubo ottico

Di ogni coppia, una delle viti si avvita sul supporto del tubo (vite "*pull*") mentre l'altra va a battuta sullo stesso (vite "push"). Questo schema è noto con il nome di "*push-pull*". La regolazione dell'inclinazione avviene indifferentemente agendo sulla vite "push" o sulla vite "pull". Per regolare agendo sulla vite "push" si dovrà avvitare la medesima e svitare a sufficienza la vite "pull" corrispondente (in questo modo si allontana lo specchio dal supporto sul tubo) mentre avvitando la vite "pull" previo svitamento della vite "push" si avvicina lo specchio al supporto sul tubo. Le viti "pull" tubo sono anche quelle da svitare per rimuovere la cella (da sotto) insieme al primario.

Quando si rimuove la cella del primario si presti cura onde evitare di toccare con le mani la superficie dello specchio ma se questo succedesse non se ne faccia un dramma! Resistete alla tentazione di "dare una pulitina" allo specchio che quasi invariabilmente sarà cosparso di polvere. Se proprio dovete fare qualche pulizia usate un asciugacapelli alla minima temperatura possibile per soffiare via la polvere. Questo per evitare di fare più danni di quanti se ne vogliano risolvere. Spesso infatti gli specchi non sono protetti da uno strato superficiale di protezione e lo spessore del deposito riflettente è submicronico. Un qualsiasi graffio (anche con un pennello di peli di cammello, di quelli che si usano per pulire le lenti degli oculari, si può graffiare lo specchio rimuovendo la polvere se questa è particolarmente aderente) rimarrebbe impresso indelebilmente e per farlo sparire bisognerà rialluminare tutto lo specchio.

Per procedere alla marcatura del primario la cosa più importante da fare è quella di ritagliare da un foglio di carta abbastanza spesso (80-100 gm/m^2) un disco avente diametro pari a quello del vostro primario, come mostrato in Fig. 67.

Fig. 67 – Foglio di carta riproducente le dimensioni del primario

Se deciderete che mai vi servirà un collimatore al laser potete marcare il centro sul dischetto di carta ritagliando un foro di 4/5 mm di diametro dopo averlo ripiegato in quattro (la cosa non deve essere necessariamente precisa al millesimo!). Se invece optate per il cerchietto salvafori, il foro che dovete ritagliare deve essere leggermente maggiore in diametro della dimensione del cerchietto, in modo da poterlo posizionare con precisione ma senza che si appiccichi al foglio. Fate diverse prove a vuoto su una qualsiasi superficie in modo da andare sul sicuro quando si tratterà di passare alla fase realizzativa!

Appoggiate il disco di carta sul primario facendo attenzione a non strisciarlo sopra. Se necessario allentate i supporti del primario in maniera da poter far scorrere il disco sotto di essi e centrate il bordo del disco rispetto al bordo del primario.

Fig. 68 – Centro del foro marcato sul primario

Tenendo fermo il disco di carta marcate il primario o con un pennarello nero a punta grande attraverso il piccolo foro praticato al centro o incollando il cerchietto salvafori. Per quest'ultima operazione può essere utile marcare il centro del foro con un piccolo punto o trattino fatto con un pennarello a punta sottile. Il risultato finale è mostrato in Fig. 68.

PASSO 5 - Inclinazione dello specchio secondario

Mentre al passo precedente ci si era occupati di un aspetto, importante sì, ma non fondamentale, in questo paragrafo ci si occuperà della correzione della sorgente maggiore di distorsioni dell'immagine, ovvero dell'inclinazione da dare alla diagonale. In questo stesso passaggio si regolerà anche la seconda componente dell'offset, quello verso il primario. La prima cosa da fare è dotarsi di uno strumento tanto indispensabile quanto facile da costruire: un contenitore di pellicole vuoto con il fondo tagliato via e con un foro di circa 2 mm di diametro praticato nel centro del tappo (si veda la Fig. 69).

Fig. 69 – Strumento per la correzione dell'inclinazione dello specchio secondario

Praticamente qualsiasi contenitore può andar bene ma i migliori per questo scopo sono quelli della Kodak (barilotto nero con tappino grigio). Infatti in questi il centro del tappo è ben individuato e la plastica si presta meglio alla foratura.

Dopo aver fatto le operazioni di taglio del fondo e di foratura del tappo si provi il "collimatore" così costruito sul focheggiatore. Se è largo si può aggiungere uno o più giri di nastro adesivo per garantire una precisione maggiore nella centratura. La ragione della necessità di questo strumento è nel fatto che questo passo di collimazione richiede di avere l'occhio il più perfettamente centrato rispetto al centro del focheggiatore. Come ulteriore passo si consiglia di trovare un tappino di quelli trasparenti e bucarlo al centro con lo stesso diametro di foro. Questo sarà utile per collimare lo specchio primario (sostituendolo al tappino di materiale non trasparente). Naturalmente se ne possono sempre fare due, uno in materiale trasparente e l'altro no.

Si passi quindi alla parte pratica. In questo passaggio è importante ricordare le seguenti due cose:

1) Guardando attraverso il collimatore la diagonale risulterà collimata se sembrerà perfettamente centrata nel tubo del focheggiatore. Per via della prospettiva la diagonale sembrerà anche circolare anziché ellittica.
2) Ignorare assolutamente le riflessioni del primario mentre si controlla e si aggiusta la centratura del secondario. A questo proposito sarà meglio considerare il secondario come dipinto di bianco, così da ignorarne ogni riflessione.

Per aumentare il contrasto tra le varie parti all'interno del tubo (che dovrebbero essere tutte obbligatoriamente dipinte di vernice nera antiriflettente, tranne ovviamente gli specchi) sarà opportuno inserire un foglio di carta bianca sul lato interno del tubo opposto al focheggiatore e fissarlo al bordo con una striscia di nastro adesivo. Dopo aver effettuato questa operazione si guardi attraverso il foro del collimatore autocostruito.

Fig. 70 – Particolari interni del collimatore autocostruito

Si dovrebbero vedere i seguenti componenti: l'interno (nero) del focheggiatore, il supporto del secondario che si staglia sullo sfondo bianco del foglio e lo specchio secondario (Fig. 70). Riflesso nel secondario dovrebbe comparire il primario (in tutto od in parte), l'immagine del focheggiatore e al suo interno il tappino del collimatore. Per vederlo meglio potete passare a quello trasparente, che trasmetterà la luce e rende la sua riflessione sul secondario molto più apparente. Per collimare il secondario però sarà meglio usare quello non trasparente per evitare riflessioni indesiderate.

Agendo sulla vite centrale (o su l'analogo sistema del vostro telescopio) si sposti il secondario in maniera che la sua immagine, come vista attraverso il collimatore, appaia centrata dentro il bordo interno del tubo del focheggiatore. Per controllare la concentricità converrà estrarre il focheggiatore alla sua massima distanza e poi reinserirlo a quella minima per verificare la centratura in tutte le condizioni di prospettiva. Durante questa fase è molto conveniente avere il secondario "caricato" dalla molla. Questo vi eviterà di dover agire sia sulla vite centrale che sulle tre viti di collimazione per la centratura. Se, come in questo specifico caso, la molla è troppo corta per esercitare una pressione sufficiente a sostenere il secondario sarà utile aggiungere delle rondelle (possibilmente nere) tra la battuta della molla sul supporto del secondario e la molla stessa.

Centrate adesso la riflessione del primario nel secondario in maniera che appaia centrata nello stesso, senza ovviamente cambiare la centratura raggiunta al passo precedente. Per centrare la riflessione orientatevi con i supporti del primario che sporgono sulla superficie dello specchio (Fig. 71).
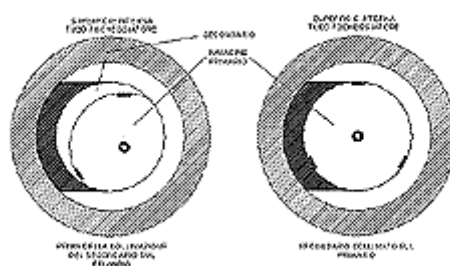
Fig. 71 – Supporti del primario sporgenti sulla superficie dello specchio

Quando vedrete che tutti e tre sporgono in ugual misura sullo specchio secondario, allora avrete raggiunto la corretta inclinazione del secondario. Per fare questo agite sulle tre viti di regolazione, ricordandosi che nella maggioranza dei modelli disponibili sul mercato per cambiare l'inclinazione bisogna allentare una vite e svitare le altre due della stessa misura, a meno di non avere un certo precarico della molla (se questa esiste). In alcune configurazioni può essere conveniente svitare tutte le viti quanto basta a regolare con la mano (che risulta molto più facile e naturale rispetto ad agire su ogni vite separatamente) l'inclinazione ed effettuare la regolazione fine (frazioni di giro della vite) agendo sulle viti. Nell'eseguire queste correzioni ignorate ogni tentazione di centrare la riflessione del fondo del focheggiatore rispetto al secondario, cosa che vi porterebbero ad ottenere un'inclinazione errata della diagonale (questa è la ragione di base nell'usare il tappino non trasparente per il collimatore in questa fase).

PASSO 6 - Collimazione tra secondario e primario

Per eseguire quest'ultimo passaggio conviene sostituire il tappino non trasparente con quello trasparente (oppure cambiare collimatore qualora ne aveste fatti due) per ottenere una conveniente illuminazione "da dietro".

Scopo di quest'ultimo passo nella collimazione è quello di centrare il marcatore nel centro del primario con la riflessione del centro del collimatore sul secondario.
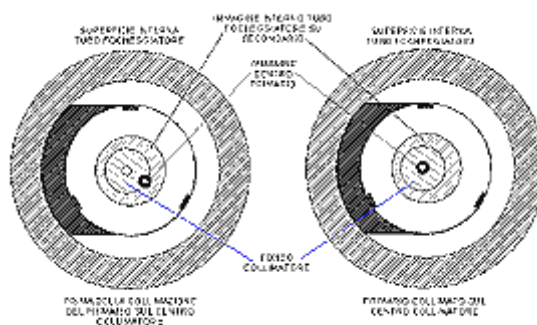
Fig. 72 – Supporti del primario sporgenti sulla superficie dello specchio

La configurazione tipo di partenza e quella finale da raggiungere sono descritte in Fig. 72. Per fare questo si dovrà agire sulle viti "push-pull" svitando/avvitando la vite "*pull*" e viceversa per la vie "*push*". I migliori risultati si ottengono operando in maniera sequenziale e scegliendo e mantenendo sempre lo stesso verso (orario od antiorario) di percorrenza nella sequenza. In pratica si operi in questa maniera:

1) Si decida (arbitrariamente) un verso di percorrenza nella sequenza di aggiustamento delle viti, per esempio il senso orario.
2) Si controlli, guardando attraverso il collimatore, in che posizione si trovi il centro del primario rispetto al foro nel collimatore. Si scelga di partire dalla vite opposta alla direzione della retta che unisce i due. Nel dubbio scegliere quella con angolo orario più piccolo. La quantità di svitamento o avvitamento dipenderà da quanto vicino (o lontano) sono i due centri. Tanto più lontano saranno tanto più grande può essere lo svitamento (o avvitamento) necessario. Si sviti la prima delle viti (svitare la "*push*" e avvitare la "*pull*") e si verifichi che la distanza tra i due centri sia diminuita. Se non lo è (ed è aumentata) si riavviti e si operi in senso inverso (questo stabilisce il senso dell'avvitamento/svitamento). Si prosegua quindi di vite in vite ripetendo queste operazioni fino a quanto necessario per portare i due centri a coincidere.

L'aspetto finale delle ottiche quando collimate si può descrivere come segue:

Il secondario appare centrato rispetto al bordo interno del tubo del focheggiatore. L'immagine riflessa del primario appare centrata nel secondario. Il centro del primario appare centrato sul centro del focheggiatore sul secondario.

L'immagine sul secondario del fondo del collimatore NON appare centrata né rispetto al bordo del tubo del focheggiatore né rispetto al secondario. Questo effetto sarà tanto più evidente quanto più è basso il rapporto focale e grande il diametro del primario.

Se alla fine delle operazioni di collimazione sembrerà che durante gli aggiustamenti ci sia stato uno spostamento dei componenti o le immagini riflesse non coincidono con quanto descritto in precedenza, potrete ripetere l'operazione per raggiungere un grado di collimazione più preciso. Non conviene però, nella maggioranza dei casi, spingersi a livelli di "fanatismo" nel grado di collimazione da raggiungere nei procedimenti sopra descritti. Il livello finale, quello "vero", di collimazione "perfetta" può essere raggiunto solo attraverso lo "Star Test".

1.6.6. Star Test

Anche avendo eseguite tutte le procedure descritte nel paragrafo precedente, il livello ultimo, di massima precisione, della collimazione si può solo ottenere eseguendo quello che è comunemente noto come "star test". Sebbene qui non si voglia trattare in maniera diffusa e particolareggiata di questo test se ne vedrà comunque l'impiego ai fini della collimazione delle ottiche.

Si tenga presente che i discorsi avente una valenza generale nel seguito saranno riferiti alle ottiche "veloci" piuttosto che a quelle "lente"; per intenderci, quelle con rapporto focale compreso tra f/4.5 e f/6 (il nostro telescopio è appunto un f/6).

Scelta della stella per lo Star Test

Per le ottiche di diametro da 200 mm in su, si scelgano stelle di magnitudine almeno 3.

Esecuzione dello Star Test

Ci si doti di tutta la serie di oculari che si dispone e dell'eventuale lente di Barlow, se la si usa. Si incominci col centrare la stella scelta con l'oculare di più lunga focale che si dispone. Scopo ultimo della collimazione con lo Star Test è quello di ottenere delle figure di diffrazione (ovvero il disco di Airy e gli anelli concentrici ad esso) simmetrici rispetto all'asse ottico dell'oculare. L'ingrandimento minimo per riuscire a vedere, se le condizioni locali lo consentono, la figura di diffrazione, è dato dalla seguente formula (approssimata con sufficiente accuratezza per i presenti scopi):

I = 0.41 * D

con D diametro dell'obiettivo espresso in millimetri. Ad es. un obiettivo da 200 mm richiederà un ingrandimento minimo pari a: 0.41 * 200 = 82.0.

Sfuocate la stella fino ad ottenere immagini in cui si veda chiaramente l'ombra del secondario al centro dell'immagine. Controllate che l'ombra del secondario sia ben centrata rispetto agli anelli esterni. Se avete eseguito correttamente le operazioni di collimazione descritte nel paragrafo precedente, non dovreste vedere decentraggi con gli ingrandimenti forniti da un 25 mm. Se invece così fosse, procedete alla collimazione agendo sulle viti di regolazione del SOLO primario. La procedura generale non è diversa da quella descritta nel paragrafo precedente con le seguenti accortezze:

1) Operate piccoli aggiustamenti alla volta agendo su una vite "push" soltanto, tipicamente un decimo di giro. Se vedete che l'operazione sortisce effetto opposto a quello desiderato riportate la vite al suo stato originario e agite sulla successiva. Se l'operazione invece migliora il centraggio chiudete il gioco serrando la vite "*pull*".
2) Dopo ogni operazione ricentrate la stella nell'oculare. Questo può risultare difficile se siete allineati sulla Polare ed il tubo è parallelo all'asse polare (A.R.) perché la Polare potrebbe spostarsi sul meridiano. In questo caso conviene inclinare l'asse di Dec. di 90° in modo da poter inseguire anche lungo il meridiano (agendo sul movimento in Dec.).
3) La vite su cui iniziare ad agire è quella opposta alla direzione in cui si vede che l'ombra del secondario è spostata rispetto al centro. Se siete incerti su quale vite agire mettete una mano davanti all'apertura per evidenziare da che lato è spostato il secondario. Vedrete infatti l'ombra della mano sovrapporsi all'immagine sfuocata della stella e capirete così in che posizione si trova la vite su cui agire.

Quando raggiungete uno stato soddisfacente di collimazione, passate all'oculare successivo cercando di raddoppiare gli ingrandimenti usati in precedenza. Si ricordi che in ogni passaggio le correzioni da fare sulle viti si dimezzano.

Sfuocata la stella di almeno la metà di quanto fatto precedentemente o anche meno, regolatevi su quanto segue: ogni volta che passate ad un ingrandimento successivo dopo una precedente collimazione siete praticamente certi di dover fare qualche aggiustamento. Sfuocate l'immagine quel tanto che serve per evidenziare questo disallineamento. Se non riuscite ad evidenziarlo passate all'ingrandimento successivo, sfuocando almeno la metà della volta precedente. Questo processo termina quando avete raggiunto il massimo ingrandimento utilizzato sullo strumento.

Un'ulteriore passo per raggiungere una maggiore precisione, necessario e fondamentale per ottener un'alta risoluzione sui pianeti è operare le procedure descritte sopra partendo da un oculare ad ingrandimenti elevati (tra i 150 e i 200) visualizzando però l'immagine di diffrazione e non sfuocando la stella. Come si può intuire, in questo ultimo passaggio il livello di aggiustamento di una vite è molto piccolo e quindi particolare cura va messa in questo ultimo passo. Molto spesso le condizioni locali di turbolenza atmosferica (seeing) non consentono di effettuare questo passaggio. In tal caso è ovviamente opportuno rinviare a tempi (e seeing) migliori. In ogni caso non potreste ottenere dal vostro telescopio prestazioni maggiori.

Le operazioni descritte sopra dovrebbero diventare, per un possessore di uno strumento come il telescopio, specialmente se newtoniano, una seconda natura e venir effettuate (se necessario) prima di ogni seduta osservativa. Solo in questo modo potrete ottenere tutte le prestazioni in termini di qualità d'immagine per cui il vostro strumento è stato progettato (sperabilmente!).

1.6.7. Il test di Foucalt

La prova di Foucalt ha due scopi: la ricerca della posizione del fuoco di un obiettivo ed il controllo della qualità dell'immagine creata dallo stesso. Per la prova è necessario disporre di una sorgente di luce puntiforme che può essere data da una stella. Questa invia la propria luce su tutta la superficie dell'obiettivo il quale la concentra in un punto, che si trova sul piano focale. Se la sorgente è davvero puntiforme, (non fate la prova su di un pianeta!) e l'obiettivo costruito con cura, nel momento in cui la lamina incontra il punto del piano focale dove si è formata l'immagine della stella, non

può oscurarne solo una parte (non esiste il mezzo punto!). Di conseguenza qualsiasi minimo movimento della lamina, se si trova nella giusta posizione, non può che far apparire all'osservatore, lo specchio interamente illuminato o interamente buio. Questa condizione ci permette di affermare con certezza che la lamina si trova esattamente sul piano focale. Qualora, trovato il piano focale, durante gli spostamenti della lamina si osservino nell'obiettivo contemporaneamente zone illuminate e zone oscure siamo in presenza di tensioni dovute alla temperatura non omogenea dell'obiettivo o al sistema di fissaggio dello stesso.
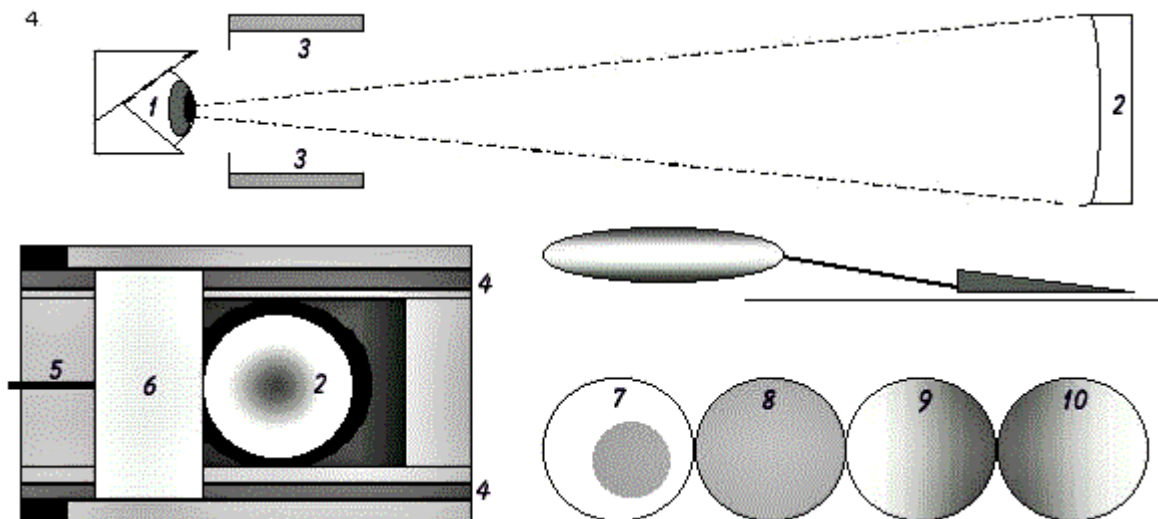
Fig. 73 – Schema della prova di Foucalt

In presenza di turbolenze atmosferiche, chiaramente, il momento del passaggio dalla luce all'ombra sarà caratterizzato da lampeggiamento continuo delle immagini. In questo caso è cosa saggia rimandare la prova a momenti migliori. È necessario costruire una lamina molto affilata, come nel disegno (Fig. 73, part. 6), con un lato piano e l'altro con la forma di uno scalpello da legno molto appuntito. In particolare nella figura abbiamo indicati: 1) l'occhio di chi osserva; 2) lo specchio principale; 3) la macchina fotografica aperta; 4) le guide della pellicola; 5) il manico della lama (modificato); 6) la lamina di prova; 7) visione dello specchio principale illuminato solo nella zona vicino al centro (in questo caso occorre avvicinare l'occhio alla finestrella; 8) specchio completamente illuminato (condizione necessaria per iniziare le prove); 9) la lamina si trova in posizione intrafocale (occorre allontanare la macchina dallo specchio); 10) la lamina si trova in posizione extrafocale (occorre quindi avvicinare la macchina allo specchio).

La lama deve essere di dimensioni tali da potersi inserire perfettamente tra le due guide di scorrimento della pellicola, appoggiandosi al piano focale. Questo metodo permette di mettere la lamina, molto facilmente, nella stessa posizione in cui scorre la pellicola. La macchina, naturalmente senza pellicola, deve essere aperta ed inserita nella sua sede. Occorre portare una stella abbastanza luminosa al centro del mirino. Con l'apposito flessibile aprire l'otturatore della fotocamera. Avvicinando lentamente l'occhio all'apertura rettangolare dove scorre la pellicola vediamo il puntino luminoso che aumenta le proprie dimensioni sino ad illuminare completamente lo specchio. Inserire la lamina molto lentamente finché non vediamo l'obiettivo che si oscura. Tornando indietro con la lamina rivediamo l'obiettivo che inizia ad illuminarsi prima da un lato. A questo punto è necessario spostare il focheggiatore sino a trovare la posizione in cui il minimo spostamento della lamina (sempre appoggiata al piano della pellicola) permetta il totale oscuramento o la totale luminosità senza posizioni intermedie.

1.7. Orientamento e messa in stazione

Sia i telescopi con montatura altazimutale che equatoriale possono essere montati in qualsiasi posizione. Ma l'equatoriale funzionerà meglio se l'asse polare sarà puntato approssimativamente al polo celeste. Per ottenere risultati migliori, montate il telescopio come segue: piazzate le gambe del piedistallo o treppiedi in modo che l'asse polare sia puntato direttamente al polo celeste (come detto, nell'emisfero boreale il Polo è nelle vicinanze della Stella polare). Poi, per controllare l'allineamento, guardate attraverso il cercatore, muovendo il tubo avanti e indietro sull'asse polare. Se il Polo resta al centro del campo del cercatore, l'allineamento è corretto. Se l'allineamento non è buono, si può migliorare, spostando lievemente il piedistallo. Fate un segno sul pavimento o sul terreno in modo che in seguito il piedistallo o il treppiedi possano essere sistemati con minor fatica.
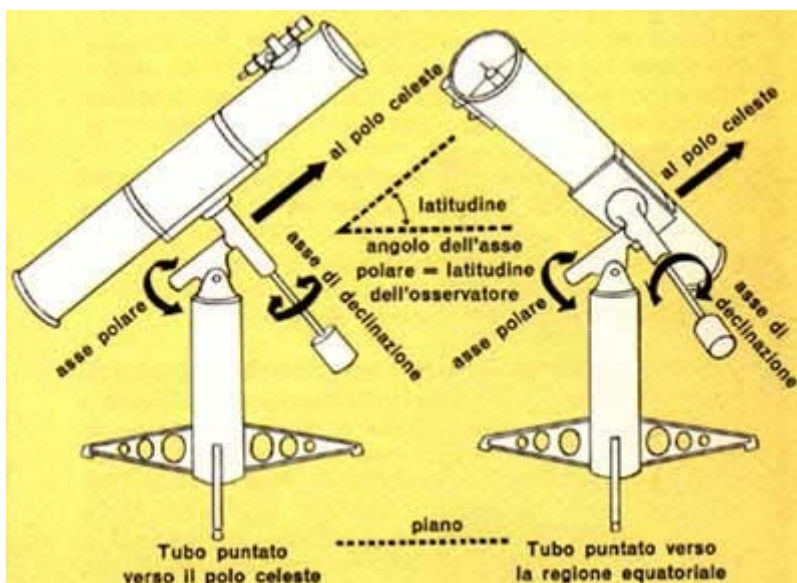
Fig. 74 – Orientamento di un telescopio equatoriale

Se sistemato correttamente, un equatoriale è facile da usare. Con gli assi sbloccati, si può muovere in qualsiasi direzione; con l'asse polare bloccato c'è solo un movimento: da Nord a Sud (comodo per scrutare il cielo mentre la Terra gira); con l'asse di declinazione bloccato, c'è solo un movimento: da Est a Ovest. Così potete tenere un telescopio puntato su un corpo celeste per lungo tempo, solo muovendo il tubo sull'asse polare, per compensare la rotazione terrestre. La vostra mano o una trasmissione a orologeria possono imprimere questo movimento.

La messa in stazione è un'operazione un pò complessa e laboriosa, che richiede pazienza e parecchia pratica. In pratica, alcune montature equatoriali hanno l'asse polare cavo ed un piccolo cercatore in esso inserito dal quale traguardare la stella polare, in tal caso basta muovere le regolazioni in altezza ed azimuth della montatura finché la stella non appare al centro di un apposito riferimento inciso nell'oculare del cannocchiale polare.

Se la tua montatura non è dotata di cannocchiale polare ma possiede un motorino per l'inseguimento siderale delle stelle, puoi adottare il metodo di Bigourdan; esso consiste nel puntare con un oculare dotato di reticolo montato al telescopio, una stella vicino all'equatore celeste ed al meridiano locale e di accendere il motore: se la stella rimane al centro del reticolo vuol dire che la messa in stazione è perfetta, se tende a "derivare" verso nord significa che l'asse polare del telescopio è troppo ad ovest, viceversa è troppo ad est. Si regola dunque l'azimuth della montatura finché non si hanno più derive apprezzabili, quindi si passa a puntare una stella circa 45-60° ad est del meridiano e si osserva nuovamente la deriva: se essa è a nord l'asse polare punta troppo in alto, viceversa troppo in basso. Dunque, per approssimazioni successive, si corregge la stazione del telescopio finché l'inseguimento è sufficientemente preciso.

Tale metodo è illustrato in modo approfondito nel prossimo paragrafo.

Una volta che la montatura à correttamente stazionata, essa ti consente due cose fondamentali: controbilanciare la rotazione terrestre e puntare gli oggetti celesti servendoti dei cerchi graduati incisi sugli assi.

Per la compensazione della rotazione, è sufficiente ruotare con regolarità la manopola del moto micrometrico dell'asse polare (o lasciare che a farlo sia un apposito motorino); riguardo al puntamento degli oggetti, bisogna innanzi tutto eseguire una regolazione dei cerchi graduati. Per fare ciò devi puntare una stella della quale conosci le coordinate (le puoi trovare in appositi cataloghi, anche su Internet, o in qualche software di simulazione celeste) e ruotare i riferimenti finché essi non segnano le coordinate esatte; a questo punto, per puntare un altro oggetto, non devi fare altro che spostare il telescopio finché esso non indica le sue coordinate.

Tenete presente comunque che spesso i cerchi graduati delle montature amatoriali sono un pò approssimativi e non sempre gli oggetti si trovano al centro dell'oculare quando la montatura ne indica le coordinate, inoltre, dopo avere eseguito la regolazione dei cerchi, tale regolazione si perde col passare del tempo, se non è attivo un motorino di inseguimento sulla montatura, perciò dovrai ripetere l'operazione più volte nella serata.

Per finire, da qualche anno a questa parte esistono in commercio dei telescopi di diverse marche dotati di montatura equatoriale computerizzata: essa consiste nella sostituzione dei cerchi graduati con degli encoder (dei misuratori di spostamento angolare elettronici) e nel controllo dei motori attraverso un computer interno. Così facendo, il telescopio è in grado di muoversi da solo verso l'oggetto scelto dall'utente (attraverso un database di coordinate interno) ma non ti esime dalla messa in stazione iniziale e dalla regolazione delle coordinate.

La procedura per l'allineamento polare preciso richiede l'uso di un oculare con reticolo. Un oculare che fornisca circa 200 ingrandimenti va bene allo scopo, ma sarebbe meglio aumentare l'ingrandimento usando una lente di Barlow 2X. Quindi, seguite queste istruzioni, relative al cosiddetto metodo della "deriva in declinazione": esso è valido anche

se la stella polare non è visibile, ed è il metodo seguito anche per stazionare i più grandi telescopi del mondo.

1) Allineate grossolanamente lo strumento con l'aiuto di una bussola o della stella polare.
2) Inserite l'oculare con reticolo (o la combinazione lente di Barlow + oculare) nel portaoculari del telescopio.
3) Puntate il telescopio con il moto orario acceso, su una stella di media luminosità nei pressi del punto in cui si intersecano il meridiano (il cerchio massimo passante per i poli Nord e Sud e lo zenit) e l'equatore celeste. Per i migliori risultati la stella dovrebbe trovarsi entro +/-30 minuti di A.R. dal meridiano ed entro +/-5° dell'equatore celeste. (Puntando il telescopio verso una stella nella posizione suggerita sui cerchi graduati di Declinazione dovreste leggere circa 0°).
4) Controllate lo spostamento della stella in Declinazione (non preoccupatevi di eventuali errori in ascensione retta):
   - se la stella si muove verso Sud (verso il basso, osservando nella posizione a 90°), l'asse polare punta troppo verso Est.
   - se la stella si muove verso Nord (verso l'alto), l'asse polare punta troppo verso Ovest.

   Ruotare tutto il telescopio in azimuth (orizzontalmente) per correggere la posizione della montatura nella direzione appropriata. Continuate l'operazione fino a quando la stella non si sposterà più verso nord o sud almeno per 2-3 minuti. Tenete la stella all'incrocio de reticolo ancora per qualche minuto per essere sicuri che il movimento della stella in declinazione sia cessato.
5) Successivamente, puntate il telescopio su un'altra stella di media luminosità che si trovi nei pressi dell'orizzonte Est ma sempre vicina all'equatore celeste. Per ottenere i migliori risultati, la stella dovrebbe trovarsi tra i 20° e i 30° sopra l'orizzonte Est ed entro +/- 5° di distanza dall'equatore celeste.
6) Controllate ancora una volta lo spostamento della stella in Declinazione. Se la stella si muove verso Sud (verso il basso, osservando nella posizione "normale", cioè con l'oculare a 90°), l'asse polare del telescopio punta troppo in basso. Se la stella si muove verso Nord (verso l'alto), l'asse polare del telescopio punta troppo in alto. (Potete usare una stella a Ovest anziché a Est, invertendo però le correzioni da apportare). Variate l'inclinazione dell'asse polare del telescopio per apportare le necessarie correzioni all'angolo di latitudine. Ancora, continuate l'operazione fino a quando la stella non si sposterà più verso nord o sud. Tenete la stella all'incrocio del reticolo ancora per qualche minuto per essere sicuri che il movimento della stella in declinazione sia cessato.

La procedura appena descritta consente di ottenere un allineamento polare molto preciso, e riduce al minimo la necessità di effettuare correzioni durante le osservazioni. Tuttavia richiede almeno mezz'ora, e molto di più le prime volte che ci si prova.

1.7.1. Posizionamento del telescopio con il metodo di Bigourdan

La prima domanda dovrebbe essere: perché posizionarlo? La "montatura equatoriale", cosi si chiama quel groviglio di metallo, goniometri, viti, leve, galletti, ruote dentate e manopole che ci fanno ammattire, ha una sola funzione importante: orientandone in modo opportuno gli assi è possibile inseguire gli astri con un solo movimento. In parole povere, la terra gira e se vogliamo osservare sempre la stessa porzione di cielo occorre che lo strumento faccia un movimento uguale e contrario. E allora? E' molto semplice: occorre puntare l'asse polare verso l'omonima stella. Ottima soluzione per quelle (poche a dire il vero) montature che sono dotate di un cannocchiale polare e se la stella Polare è visibile dalla vostra postazione. Qualora la Polare sia visibile ma non esiste il cannocchiale polare occorre portare l'indicatore del movimento di declinazione su 90° e bloccarlo; in queste condizioni lo strumento dovrebbe puntare sempre lo stesso oggetto anche se ruotiamo l'asse polare, Fig. 75.
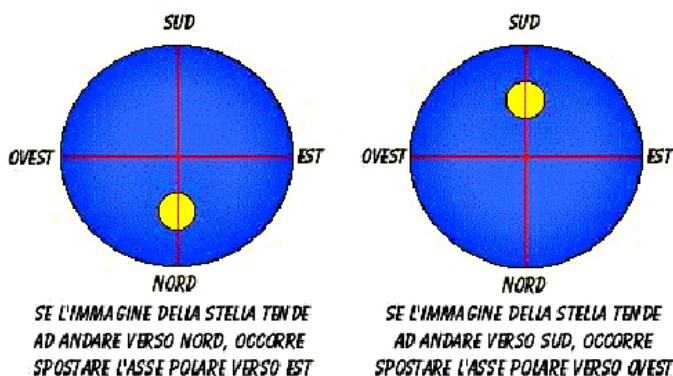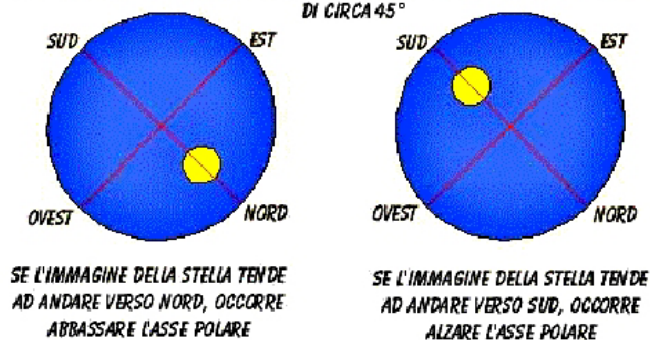
Fig. 75 – Orientamento di un telescopio equatoriale

Nel caso in cui questo non avvenga occorre cercare con piccoli movimenti, fatti esclusivamente sull'asse della declinazione, la posizione in cui lo strumento tende a comportarsi come descritto (usando inizialmente pochi ingrandimenti). La ricerca di questa posizione ci permette inoltre di verificare che il sistema di fissaggio del tubo ottico alla montatura sia esente da tensioni che potrebbero renderlo non perfettamente perpendicolare all'asse di declinazione.

Naturalmente, una volta raggiunta questa condizione, verificare che l'indicatore di declinazione segni 90°, ed eventualmente correggerlo in caso di disaccordo (se possibile). A questo punto, con tutte queste manovre, abbiamo portato l'asse ottico dello strumento perfettamente parallelo all'asse polare. Agendo quindi sulla regolazione degli assi azimutale e di regolazione in altezza orientiamo lo strumento verso la Polare che porteremo al centro dell'oculare. In queste condizioni l'errore è inferiore ad un grado: se non abbiamo velleità fotografiche possiamo accontentarci.

Qualora la Polare non sia visibile e, in ogni caso, qualora desideriamo una maggiore precisione (fotografia ecc.), è consigliabile il metodo di Bigourdan che offre migliori garanzie. Il metodo di Bigourdan permette di stazionare lo strumento anche senza la visione del Polo e indipendentemente dalla presenza di cerchi graduati, indispensabile invece sono forti ingrandimenti (150, 200 anche con lente di Barlow) ed un oculare dotato di reticolo puntatore.

Occorre prima di tutto stazionare lo strumento con l'asse polare orientato il più possibile verso il Polo utilizzando anche la scala graduata, se esiste, regolando l'altezza dell'asse polare in base alla latitudine del sito di osservazione, dopodichè si porta al centro del reticolo una stella vicina all'equatore celeste (circa 45 gradi dall'orizzonte) e al meridiano locale (perciò verso Sud). Nel caso che lo strumento non sia dotato di motorizzazione in ascensione retta, occorre inseguire manualmente ruotando esclusivamente l'asse polare. Seguendo le istruzioni dei primi due casi si corregge la posizione dell'asse polare agendo esclusivamente sull'azimut (la rotazione più vicina al treppiedi, con asse verticale). Non tenendo conto degli spostamenti verso Est o verso Ovest, dovuti esclusivamente ad errori di inseguimento, qualora per almeno 5 minuti la stella non presenti spostamenti sensibili verso Nord o verso Sud passiamo alla fase successiva.

Puntiamo allora una stella verso Est situata a circa 6 ore dal meridiano ad una declinazione tra i 40° ed i 50° e seguiamo le istruzioni degli ultimi due casi. Per correggere la posizione in altezza dell'asse polare occorre agire esclusivamente sullo snodo (con asse orizzontale) che si trova tra la rotazione dell'azimut e l'asse polare. Dopo cinque minuti senza spostamenti sensibili torneremo a controllare l'azimut con una stella vicina al meridiano e all'equatore per le ultime correzioni. E' importante sapere che 1 ora di ascensione retta equivale ad uno spostamento di 15° sull'Equatore celeste (un'ora è il tempo che impiega una stella per spostarsi di 15°). Ricordare che nelle figure sono indicati i punti

cardinali come appaiono in uno strumento "normale" che capovolge l'immagine (visione astronomica). Qualora sia inserito uno specchio od un prisma a 90° (visione ribaltata) occorre scambiare tra loro le etichette Nord e Sud rimanendo invariate Est ed Ovest. Un ultimo consiglio: durante le correzioni degli assi fare spostamenti molto piccoli.

Ho ritenuto importante illustrare al lettore i meccanismi che rendono il metodo di Bigourdan il sistema più sicuro per stazionare perfettamente un telescopio con montatura equatoriale. Una volta stazionato lo strumento, se vogliamo utilizzare i cerchi graduati per trovare gli oggetti celesti, occorre puntare una stella conosciuta di cui abbiamo la posizione (ascensione retta e declinazione) e ruotare il quadrante della A. R. portandolo ai valori corrispondenti. Se lo strumento è stazionato perfettamente, la lettura del cerchio di declinazione indicherà un valore identico a quello della stella che conosciamo. Poiché il quadrante dell'A.R., se tale movimento non è motorizzato, non darà le giuste indicazioni se non lo mettiamo continuamente a "segno" con una stella conosciuta, per cercare velocemente qualcosa di visibile, basta spostare lo strumento portandolo sulla giusta declinazione e bloccarlo. A questo punto una "spazzolata" nella zona, movendo lo strumento esclusivamente sull'ascensione retta e con bassi ingrandimenti, ci farà incontrare l'oggetto cercato.

1.8. Considerazioni finali

Adesso che abbiamo acquisito una minima dimestichezza con i principali schemi ottici e con le varie configurazioni ottico-meccaniche dei telescopi, poniamoci alcune domande qualitative:

E' meglio una montatura equatoriale alla tedesca o a forcella?

Ovviamente una risposta oggettiva a questa domanda non c'è. Non entrando in merito della questione se per un uso fotografico sia meglio l'una o l'altra, d'intuito si potrebbe ritenere che sia meglio l'equatoriale alla tedesca perchè è più semplice da bilanciare, ma probabilmente, nel caso di tubi ottici medio-grandi quella a forcella è senz'altro più stabile.

Per le osservazioni visuali, invece il discorso cambia: innanzitutto ha il suo peso anche la configurazione ottica del telescopio. Per un Newton è quasi d'obbligo la montatura alla tedesca o, per newtoniani molto grossi, la forcella.
Il discorso è simile anche per i rifrattori, perchè, data la lunghezza del tubo è impensabile incernierarli su una forcella che dovrebbe avere dei bracci molto lunghi. Per gli Schmidt-Cassegrain, invece, risulta sicuramente più idonea la montatura a forcella, perchè lascia il telescopio più o meno sempre alla stessa altezza indipendentemente dalla zona di cielo che si osserva. Con una montatura alla tedesca, qualsiasi telescopio passa da posizioni elevate a posizioni rasoterra.

Ancora più comoda di tutte, per le osservazioni visuali, è però la montatura altazimutale a forcella. L'inconveniente delle montature a forcella, sia equatoriali che altazimutali, è però il peso (inconveniente non da poco...!), in quanto vi è sempre il tubo ottico attaccato stabilmente a differenza delle montature alla tedesca, dove il tubo si separa dalla montatura.

Tutto questo discorso sulle montature vale naturalmente per i telescopi amatoriali; sul mercato si possono trovare anche, ovviamente, rifrattori su montature a forcella a sbalzo altazimutali, come newtoniani da 45/50 cm in postazione fissa su montature equatoriali a forcella con tanto di scaletta per arrivare all' oculare!

Quali sono le differenze, in termini di prestazioni, tra un riflettore, un rifrattore ed un catadiottrico?

A parità di diametro di obiettivo e di lunghezza focale l' immagine migliore è data dal rifrattore, per due motivi:

- non c' è uno specchio secondario sul percorso ottico (presente invece negli altri due)
- il tubo è chiuso (non lo è nel newtoniano che ha un'estremità aperta)

La presenza di uno specchio secondario nei riflettori e nei catadiottrici garantisce che l'immagine sia meno dettagliata rispetto ad un rifrattore. Anche se guardando nel telescopio non si riesce a vedere lo specchio secondario (a parte nei catadiottrici in particolari situazioni di luminosità), perché risulta completamente sfuocato rispetto all' immagine a fuoco (posta all' infinito), la sua presenza si fa sentire con una diminuzione del contrasto e del dettaglio dell' immagine. Il tubo chiuso invece fa apparire l' immagine più stabile rispetto ad un tubo aperto dove l' aria, muovendosi all' interno, rende l' immagine vibrante. Sembrerebbe così che l'acquisto di un newtoniano non sia qualitativamente conveniente, dato che è il più penalizzato dei tre, ma non abbiamo però finora considerato i costi. Infatti a parità di diametro il rifrattore è il telescopio più costoso, seguito dal catadiottrico e dal newtoniano che è il più economico. Ciò comporta che con una determinata cifra a disposizione si possa realizzare un telescopio riflettore molto più grande rispetto ad un rifrattore potendo così accedere ad oggetti molto più deboli e riuscendo a vedere dettagli più fini (turbolenza dell' aria permettendo).

Nella pratica comune si usano i rifrattori soprattutto sugli oggetti del sistema solare i quali, essendo già sufficientemente luminosi non hanno bisogno di un telescopio che dia luminosità, ma di un telescopio che mostri bene i

dettagli dell'immagine. Viceversa per gli oggetti del profondo cielo c'è bisogno della massima luminosità possibile e, come detto, a parità di prezzo con un newtoniano possiamo avere un obiettivo molto più grande che rende così visibili oggetti molto deboli. I catadiottrici hanno come vantaggi il tubo chiuso, un campo corretto maggiore dei newtoniani ed un ingombro molto ridotto a parità di diametro. Sicuramente già intorno ai 20 cm risultano i più trasportabili in automobile. Come svantaggio principale troviamo un'ostruzione maggiore dello specchio secondario che è notevolmente più grande rispetto a quello di un newtoniano. Il prezzo li colloca più spostati verso i rifrattori che i riflettori.

Come si vedono nei telescopi i vari oggetti del cielo?

Rispetto alla fotografia l'immagine dei pianeti è migliore nell'osservazione visuale. Questo perché con la fotografia la posa su di un pianeta è sempre di qualche secondo e ciò porta la turbolenza dell' aria ad impastare i dettagli, mentre l'occhio percepisce molto bene l' immagine in una frazione di tempo molto minore. Solo la ripresa CCD è migliore dell' osservazione visuale perché i CCD, avendo una notevole sensibilità, lavorano con tempi di esposizione molto brevi.

L'inverso succede con gli oggetti del profondo cielo. Le immagini che illustrano i libri sono molto fuorvianti, perchè fanno apparire le nebulose e le galassie come oggetti ben dettagliati, molto densi, ed a colori creando così una forte aspettativa in chi muove i primi passi e che molto spesso si convince di poter vedere gli oggetti così come sono raffigurati. In realtà l'osservazione visuale è nettamente diversa, in un certo senso più "povera": le galassie e le nebulose, appaiono come delle sfumature poco dettagliate, evanescenti e, soprattutto, non a colori. Il nostro occhio non può effettuare pose come una macchina fotografica e perciò l'immagine che vediamo è molto più scarna. Con una fotografia, invece, o con una ripresa CCD a lunga esposizione, il soggetto si rende più visibile e meglio dettagliato.

Questo non toglie che la soddisfazione di scorgere, magari al limite della visibilità, un oggetto distante milioni di anni luce è notevole.

4. Esempio pratico - Il Telescopio TNC (Telescopio Newtoniano di Capodimonte)

Appare naturale, a questo punto, dare un'occhiata approfondita alla struttura interna di un telescopio. Riferendoci, per senso pratico e necessità di sintesi, al modello di telescopio in dotazione presso l'OAC (il TNC, in Fig. 76), poniamoci allora le seguenti domande:
com'è fatto il nostro telescopio? Da quali parti è costituito? Quali sono le sue caratteristiche?

Fig. 76 – Il telescopio TNC dell'OAC, newtoniano equatoriale a forcella

1.9. Il telescopio TNC: Caratteristiche ottico-meccaniche

Come contenuto nel nome stesso, il TNC (Telescopio Newtoniano di Capodimonte) è un classico sistema newton con specchio primario da 200 mm e focale di 1200 mm. La montatura del telescopio è di tipo equatoriale a forcella. Realizzata principalmente in alluminio, la sua struttura presenta delle soluzioni tali da renderla molto robusta e permette un facile smontaggio e la trasportabilità. In particolare quest'ultima caratteristica, apparentemente secondaria, è stata invece imposta come una delle specifiche primarie dello strumento. Esso infatti nasce come telescopio ad uso e consumo di un progetto didattico-formativo, in cui una prerogativa importante è rappresentata dalle osservazioni astronomiche realizzate da gruppi di studenti della Scuola secondaria superiore. La possibilità di poterlo trasportare con facilità ed in sicurezza rappresenta quindi un'intrinseca necessità. L'ottica, fornita dalla ditta Marcon di San Donà di Piave (VE) a corredo del telescopio TNC, è lavorata in autocollimazione con una correzione minima di $\lambda/10$. Nel corso del progetto, durante la fase di "osservazioni astronomiche itineranti", in cui il telescopio e la strumentazione sarà utilizzato dai gruppi partecipanti, l'ottica principale dello strumento consisterà nei 10 specchi di diametro 200 mm ciascuno, montati a turno sul telescopio, realizzati nell'ambito del recente progetto divulgativo dell'OAC "Astronomia fai da te". Le caratteristiche ottico-meccaniche dello strumento sono sintetizzate in Tab. 3.

caratteristica	valore	Unità di misura
Tipo montatura	Equatoriale a forcella	-
Diametro specchio primario	200	mm
Diametro specchio secondario	54.21 x 38.33	mm
Focale telescopio	1200	mm
Rapporto focale	F/6	-
Scala telescopio	171.89	arcsec/mm
Campo non ostruito (diametro)	15	mm
Campo utile telescopio (diametro)	43'	arcmin
Dimensioni pixel (camera CCD)	9	micron
Scala su piano focale (camera CCD)	1.54	arcsec/pixel
Dimensioni CCD (camera CCD)	768x512	pixel x pixel
Campo utile (camera CCD)	19' x 13'	arcmin x arcmin

Dimensioni pixel (videocamera)	15	micron
Scala su piano focale (videocamera)	2.58	arcsec/pixel
Dimensioni CCD (videocamera)	795x596	pixel x pixel
Campo utile (videocamera)	34' x 25'	arcmin x arcmin

Tab. 3 – Caratteristiche ottico-meccaniche del telescopio TNC

Come si evince osservando le caratteristiche in tabella, le prestazioni ottico-osservative attese variano in base a quale strumento di piano focale sia collegato al fuoco del telescopio. In particolare, una delle caratteristiche principali per valutare il tipo di osservazione da effettuare è rappresentata dalla scala su piano focale, che identifica la quantità di cielo osservabile all'interno del singolo pixel dello strumento ottico. Dal punto di vista matematico le quantità calcolate in tabella si basano sulle seguenti equazioni:

Indicando con:

[mm] = millimetri
[μm] = micron
[arcsec] = arcosecondi (1° = 3600 arcsec)
[arcmin] = arcominuti (1° = 60 arcmin)
AxR = costante (arcsec x radiante) = 206265 [arcsec]
F# = rapporto focale
Ft = lunghezza focale telescopio [mm]
D = diametro specchio primario (pupilla d'ingresso del telescopio) [mm]
St = scala telescopio [arcsec/mm] (rapporto tra quantità di cielo e focale utile del telescopio)
Cno = diametro campo non ostruito telescopio [mm]
FU = diametro campo utile non ostruito telescopio [arcmin]
PSccd = dimensioni di lato del pixel della camera CCD [μm]
SPFccd = scala su piano focale telescopio + camera CCD [arcsec/pixel]
DLccd = dimensioni di lato del CCD della camera CCD [pixel x pixel]
FOVccd = *Field Of View* (campo di vista utile sul piano focale per la camera CCD) [arcmin x arcmin]
PSvc = dimensioni di lato del pixel del CCD della videocamera [μm]
SPFvc = scala su piano focale telescopio + videocamera [arcsec/pixel]
DLvc = dimensioni di lato del CCD della videocamera [pixel x pixel]
FOVvc = *Field Of View* (campo di vista utile sul piano focale per la videocamera [arcmin x arcmin]

abbiamo:

$$F\# = \frac{Ft}{D}$$

$$St = \frac{AxR}{Ft}$$

$$FU = St \cdot Cno$$

$$SPFccd = St \cdot \left(\frac{PSccd}{1000}\right)$$

$$SPFvc = St \cdot \left(\frac{PSvc}{1000}\right)$$

$$FOVccd = SPFccd \cdot \left(\frac{DLccd}{60}\right)$$

$$FOVvc = SPFvc \cdot \left(\frac{DLvc}{60}\right)$$

1.9.1. La struttura meccanica

Il sistema meccanico è realizzato in alluminio, con una struttura al tempo stesso rigida e leggera. Nelle foto seguenti, (Fig. 77 - Fig. 79), sono riportati alcuni particolari del telescopio durante la fase di costruzione presso la ditta Marcon in San Donà di Piave (VE).

Fig. 77 – Particolari della base e testa equatoriale del telescopio TNC

Fig. 78 – Particolari della forcella del telescopio TNC

Fig. 79 – Particolari del tubo ottico del telescopio TNC

Fig. 80 – Particolari del tubo, forcella e testa equatoriale assemblati del telescopio TNC

1.10. Il Telescopio TNC: il sistema di controllo

Vi sono diverse tipologie di configurazioni, dipendenti dal tipo di osservazione e quindi dal tipo di strumentazione attualmente installata e operativa:

1. sistema di guida: pc, software per acquisizione immagine e puntamento, webcam via usb, motori AR (Ascensione Retta) e DEC (DEClinazione) via seriale
2. sistema imaging: pc, monitor aux, videocamera, software di puntamento, software di acquisizione camera, motori AR e DEC, guida
3. sistema deep sky: pc, CCD, ruota portafiltri, software di ctrl CCD, sw di puntamento, guida, motori AR e DEC
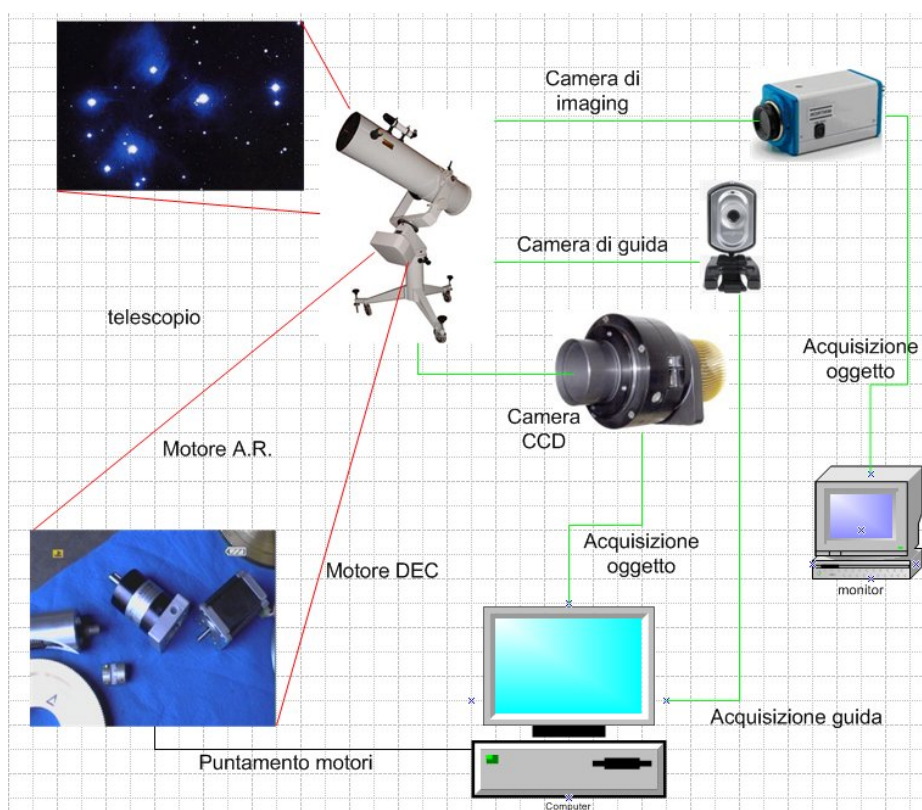
Fig. 81 – Il sistema di controllo ed acquisizioni del telescopio TNC

1.10.1. *Il sistema di movimentazione assi*

Il telescopio è dotato di movimentazione degli assi AR e DEC mediante motori passo-passo di ottima precisione. Tali motori sono connessi ai riduttori tramite giunti elastici per il corretto dimensionamento del sistema di rotazione. Le caratteristiche principali sono elencate in Tab. 4.

ASSE AR	**valore**
Tipo motore	Passo-passo
Tipo trasmissione	a riduzione epicicloidale
Rapporto di riduzione	1:5
ASSE DEC	**valore**
Tipo motore	Passo-passo
Tipo trasmissione	a riduzione con cinghia
Rapporto di riduzione	1:4

Tab. 4 – Caratteristiche meccaniche del sistema di movimentazione assi

Alcuni particolari del sistema di trasmissione in AR sono visibili nelle seguenti figure.

Fig. 82 – Particolari della vite senza fine e ruote dentate del telescopio TNC

Fig. 83 – Particolari del motore, giunto e riduttori in AR del telescopio TNC

Dal punto di vista del sistema di movimentazione assi, il controllo si basa sul sistema standard FS2. FS2 è un sistema di puntamento attivo prodotto in Germania di elevate prestazioni interfacciabile con la stragrande maggioranza di montature equatoriali (a forcella e alla tedesca) che utilizzano i motori passo-passo nei due assi.
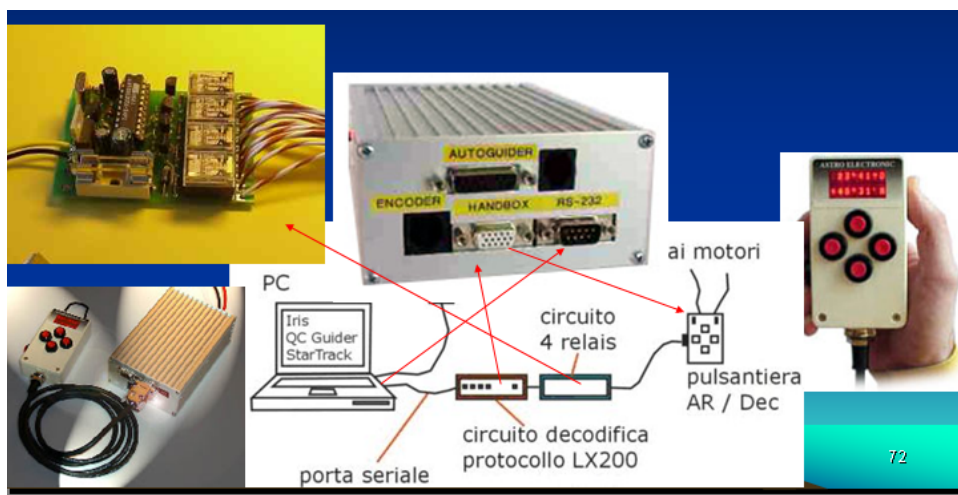
Fig. 84 – Particolari del sistema di puntamento automatico FS2

L'FS2 si adatta benissimo alle varie esigenze di computerizzazione, dalle piccole montature commerciali (tipo EQ5, GP e Losmandy) fino ai più grossi e pesanti telescopi professionali in postazione fissa. Il sistema di puntamento automatico FS2 è facile, versatile, potente e preciso. E la compatibilità con il protocollo LX200 lo rende utilizzabile con ogni software di mappa stellare, volendo controllare il telescopio remotamente. Molte sono ormai le installazioni di questo dispositivo (la cui storia di 4 anni alle spalle e la grande diffusione in tutto il mondo lo rendono sicuro e libero da eventuali *bug* di sistema), anche su telescopi di grosse dimensioni, utilizzati per seri lavori di imaging o ricerca.

Moltissimi sono ad esempio i telescopi automatizzati con FS2 nella classe dei 40/60 cm, sia di nuova realizzazione che come *upgrade* di realizzazioni precedenti. Di seguito sono brevemente riassunte le caratteristiche principali:

- **5 velocità programmabili**: fino a 3200× (ad esempio: 0,25×, 1×, 5×, 20×, 1200×). La velocità massima di puntamento dipende dai motori passo-passo installati e dai rapporti di riduzione
- **Velocità di tracking**: moto siderale, lunare, solare, cometario (entrambi gli assi sono programmabili) e terrestre
- **Pulsantiera di controllo**: dispone di 5 grossi pulsanti (utilizzabili anche con i guanti) , 4 direzionali ed uno di *shift*, che consentono di navigare tra i vari menù e selezionare gli oggetti da puntare. La pulsantiera dispone di un cavo di 2 metri (5 metri opzionali) ed è utilizzabile fino a –30°C. La lettura delle coordinate e delle varie funzioni avviene mediante un display illuminato rosso
- **Oggetti di riferimento**: l'FS2 ha memorizzato tutte le 168 stelle più luminose della terza magnitudine e il Sole come oggetti di riferimento, è possibile, comunque, inserire come riferimento anche le coordinate equatoriali di qualsiasi altro oggetto
- **Libreria interna: l'FS2** può puntare direttamente i seguenti oggetti: tutti i 109 oggetti di Messier, selezione di oltre 3.500 oggetti dei cataloghi NGC e IC, tutte le 168 stelle più luminose della terza magnitudine, Sole e pianeti, coordinate RA e Dec; è disponibile inoltre la possibilità di ricerca automatica a spirale
- **Connessione via seriale al PC**: è possibile controllare la montatura tramite l'FS2 connesso ad un PC utilizzando il protocollo LX200, in questo modo tutti i più diffusi planetari (Guide, TheSky, SkymapPro, Starry Night, ecc…) sono compatibili con l'FS2; L'FS2 può lavorare fino ad una distanza di 15 metri dal PC, nel caso fosse richiesta una distanza maggiore, è disponibile il sistema opzionale a fibra ottica per distanze fino a 80 metri
- **Ingresso encoder**: l'FS2 dispone dell'ingresso encoder che consentono il funzionamento a loop-chiuso, in questo modo è possibile muovere manualmente la montatura senza perdere il posizionamento
- **PEC**: per aumentare la precisione di guida è possibile attivare la funzione PEC (*Periodic Error Correction*), disponibile anche in declinazione
- **Interfaccia autoguida** (opzionale): all'ordine è possibile richiedere l'interfaccia autoguida per gli standard più diffusi Sbig, Meade Pictor, Starlight Xpress e Cookbook (15 poli Sub-D e 6 poli Western)
- Funzione di *Timer*
- **Firmware upgradabile via software**

1.10.2. Il sistema di guida

Le caratteristiche del sistema ottico-meccanico relativo alla guida sono sintetizzate in Tab. 5:

caratteristica	valore	Unità di misura
Tipo telescopio guida	Rifrattore	-
Diametro rifrattore	120	mm
Focale rifrattore	1000	mm
Rapporto focale	F/8.3	-
Scala rifrattore	206.265	arcsec/mm
Dimensioni pixel (webcam)	15	micron
Scala su piano focale (webcam)	3.1	arcsec/pixel
Dimensioni CCD (webcam)	640x480	pixel x pixel
Campo utile (webcam)	33' x 25'	arcmin x arcmin

Tab. 5 – Caratteristiche ottico-meccaniche del sistema di guida

Fig. 85 – La webcam Creative NX Ultra per il sistema di guida

Il telescopio TNC è dotato di un sistema di guida, l'occhio del telescopio per così dire, fondamentale per le osservazioni con lungo tempo di esposizione. In generale, durante la fase di tracking (inseguimento), in cui lo strumento di piano focale è in continua acquisizione, è importante la precisione di movimento degli assi del telescopio. Tale precisione comunque è soggetta a piccoli fenomeni di deriva dell'oggetto rispetto al centro del rivelatore che a lungo andare, porterebbero alla perdita dell'oggetto e a fenomeni di "strisciate" dell'oggetto sul rivelatore, con conseguente perdita di qualità delle immagini osservate, Fig. 86.
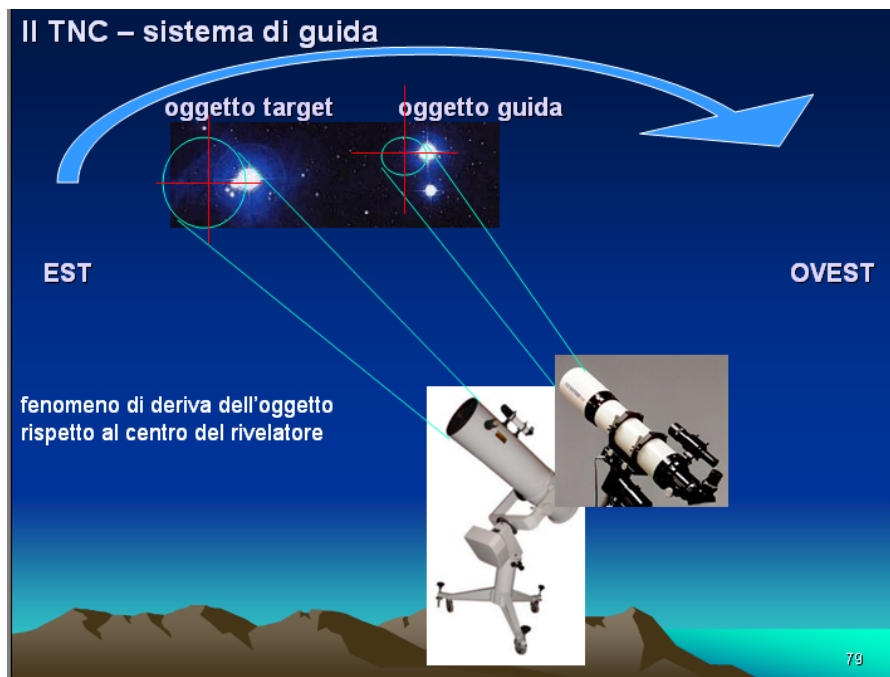
Fig. 86 – Effetto di deriva dell'oggetto di guida che si riflette sull'oggetto target

Per evitare questo fenomeno, è necessario dotare il telescopio di un sistema autonomo di guida in cui un oggetto brillante, inquadrato da un rivelatore installato sul telescopio secondario, viene mantenuto perfettamente al centro del rivelatore, Fig. 87. Essendo i due oggetti inquadrati correlati in movimento, il continuo perfetto mantenimento dell'oggetto guida al centro del rivelatore secondario, garantisce il perfetto centraggio dell'oggetto principale nel rivelatore di piano focale del telescopio principale e quindi un'elevata qualità dell'osservazione anche con tempi lunghi di esposizione.
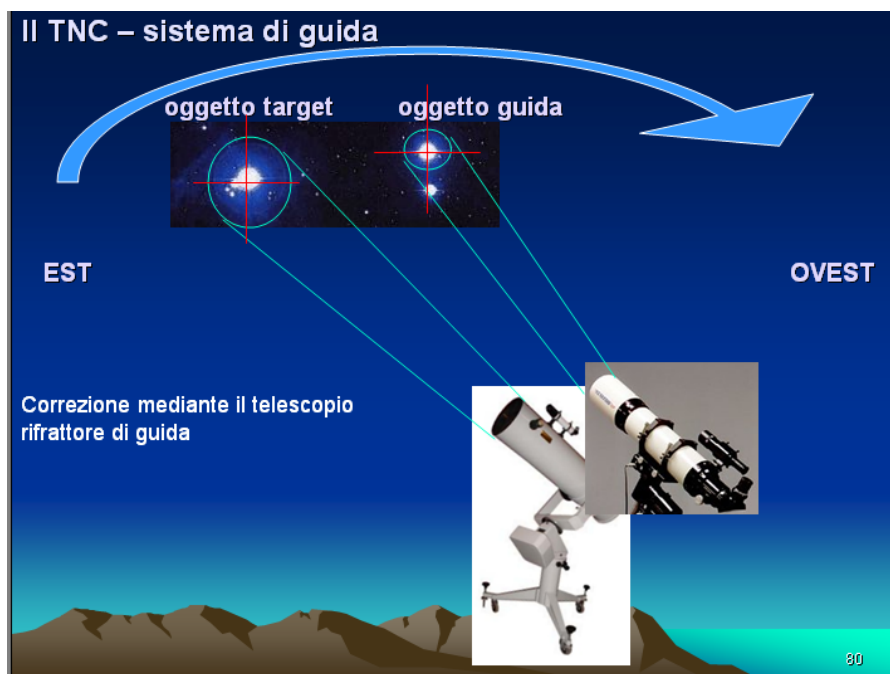
Fig. 87 – Correzione dell'oggetto di guida con immediato riscontro sull'oggetto target

Il telescopio TNC, in particolare, è stato dotato di un duplice sistema di guida, selezionabile dall'utente, che abbiamo sinteticamente denominato come *guida manuale* e *autoguida*. Per entrambi i sistemi, la strumentazione utilizzata rimane la stessa. Ciò che cambia è la sua modalità di utilizzo.

Il sistema di *guida manuale*, come indica il nome stesso, presuppone la presenza continua dell'operatore al computer, connesso al telescopio, in modo da pilotare manualmente la movimentazione degli assi del telescopio per garantire l'inseguimento dell'oggetto.
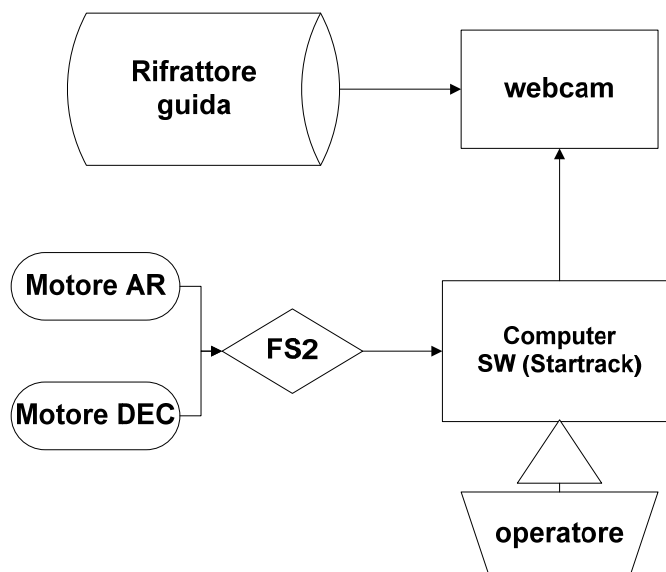
Fig. 88 – Schema a blocchi del sistema di guida semi-automatica

Ciò quindi implica l'utilizzo di un software dedicato di guida e di un'interfaccia, tramite, il computer stesso, tra l'immagine di guida acquisita e il sistema di movimentazione assi.

Il sistema di *autoguida* è invece
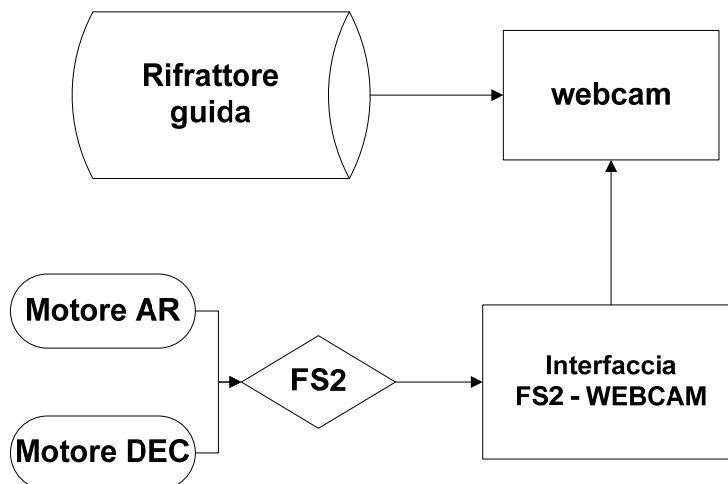
Fig. 89 – Schema a blocchi del sistema di autoguida

Il circuito di interfaccia FS2-WEBCAM, (Fig. 90), connesso alla seriale del PC, dispone di 4 uscite relais completamente isolate in grado di comandare lo spostamento di qualunque telescopio motorizzato (anche di vecchio tipo) nelle quattro direzioni. E' compatibile con lo standard LX200 (9600 *baud*, 8N1) e grazie a questa possibilità consente di autoguidare qualunque telescopio con una webcam tramite l'utilizzo dei molti software, anche *freeware* (Astroart 2.0, IRIS, ecc.), esistenti che prevedono una uscita sulla seriale RS232 di comandi LX200 compatibili. E' inoltre compatibile con lo standard STAR2000 e questo consente di comandare in autoguida e ripresa simultanea qualunque telescopio con le camere Starlight della serie MX. Di seguito sono riassunte le principali caratteristiche:

- Alimentazione: 9-15 V cc
- Massimo carico commutabile dai relais: 24V, 1°
- Connettore di uscita 15 pin ST4 compatibile
- Disponibile in kit completo per il montaggio o già montato e testato.
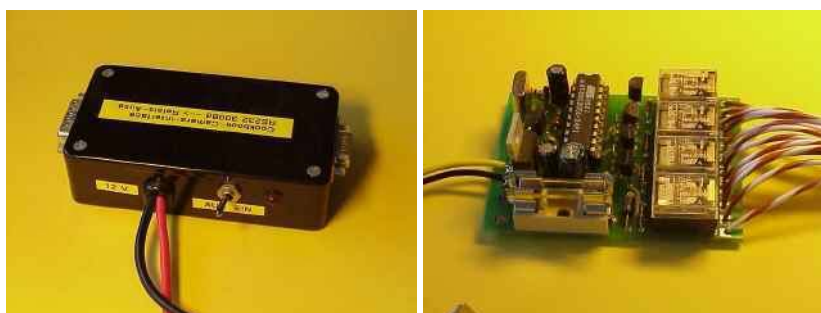
Fig. 90 – Particolari del sistema di interfacciamento FS2-relais box per autoguida con webcam

1.10.3. il sistema di imaging

Per sistema di imaging si intende il telescopio TNC in configurazione tale da avere installata all'oculare la videocamera Mintron.

Fig. 91 – Particolari della videocamera Mintron

La videocamera bianco/nero Mintron WTV-12V1C-EX è uno strumento con il quale si ottengono immagini del sistema solare e del cielo profondo in tempo reale. E' sufficiente collegare la camera ad un televisore per osservare immagini eccezionali, nel contempo si può collegare la camera ad un PC dotato di scheda video o ad un camcorder per registrare le immagini. WTV 12V1 EX è dotata di un chip Sony EXview HAD CCD. La camera pesa 300g, è alimentata a 12v (l'alimentatore è fornito a corredo insieme all'adattatore passo C / 31,8 mm), la distanza massima di lavoro può arrivare a 30 m con cavi schermati. La risoluzione è pari a 811x508 pixel. Un display che compare sul video consente di settare facilmente la camera; il settaggio include la scelta fra otturatore manuale o automatico (1/60 - 1/120.000), guadagno automatico o manuale, zoom 2x, la possiblità in "*sense up*" di integrare da 2 a 128 *frames* ed un numero addizionale di altre caratteristiche come la visione in negativo. Le immagini che si possono osservare sono splendide, galassie come M82 appaiono luminose e dettagliate, alcune osservazioni risulteranno più dettagliate che osservate in visuale. La camera aumenta l'apertura del telescopio dal 200 a 400%. Uno strumento facile da usare ed economico in rapporto alle sue potenzialità.

Caratteristiche:

- otturatore lento adatta per astronomia.
- Uscita BNC video 1vpp o SVHS luminanza e crominanza separate.
- Dimensione CCD =795x596 1/2"
- Videocamera con esposizione variabile *shutter* da 1/8000 e integrazione a 128 volte. La camera somma un massimo di 128 *frame* da 1/25 di secondo, (totale 5,12 sec; tempo utile per registrare anche oggetti del profondo cielo). Il *refresh* dell'immagine dipende dalla velocità selezionata.

Accessori forniti a corredo:

1. Alimentatore 12v 300mA
2. Raccordo 31.8mm
3. Cavo Mini Din 4P 3M (superVHS)
4. Adattatore Euroconnector SCART IN/OUT
5. Manuale in Italiano
6. Garanzia

1.10.4. il sistema deep sky

Per sistema *deep sky* (cielo profondo) si intende il telescopio TNC in configurazione tale da avere installata all'oculare la camera CCD.

Fig. 92 – Particolari della camera CCD

MaxCam è la nuova serie di camere CCD prodotte dalla *Finger Lakes Instruments*, di New York. La nuova camera ME2 utilizza l'ultimo sensore realizzato da Kodak, il KAF0402ME. Rispetto ai modelli KAF0402E precedenti è dotato di una matrice di microlenti disposte sopra gli elementi sensibili ed un innovativo trattamento antiriflesso dello strato protettivo.
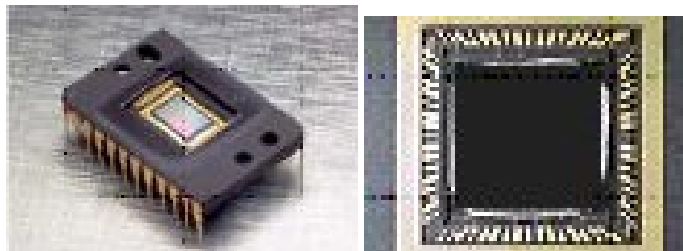
Fig. 93 – Particolari del sensore KAF0402ME

Grazie a queste caratteristiche la ME2 ha un picco di efficienza quantica vicino all'85% (!), raggiungendo il valore più alto disponibile per un sensore ad illuminazione standard frontale. Nel diagramma che segue è visibile in dettaglio l'efficienza quantica del sensore in funzione della lunghezza d'onda.

Fig. 94 – Efficienza quantica del sensore in funzione della lunghezza d'onda

Inoltre, la camera presenta le seguenti caratteristiche:

- Innovativo otturatore progettato e realizzato da FLI Stainless steel leaf shutter (patent pending) ad alta velocità (0.024 secondi);
- Alimentazione a 12Vcc tramite alimentatore o pacco batterie;
- Tempi di scaricamento veloci, a scelta, tramite USB, Ethernet o parallela ECP;
- Raffreddamento termoelettrico a doppio stadio (standard), con moduli intercambiabili opzionali (delta di -35°C (modulo ad aria) o -50°C (modulo a liquido));
- Compatibile con la ruota portafiltri FLI CFW-2 e il nuovo focheggiatore digitale DF-2;
- Costruzione estremamente robusta unita ad un'elevata compattezza (diametro 9,4 cm, lunghezza 6,9 cm, peso 1 kg);
- Fornita di serie con il software FLIGrab (supportata da MaxIm DL/CCD e Mira Axiom).
- Digitalizzazione a 16 bit
- Rumore di lettura 15 elettroni
- Corrente di buio minore di 10pA/cm quadrato a 25°C
- Full Well capacity 100.000 elettroni
- Range dinamico reale 76 dB
- Interfaccia USB di serie

Disponibile in più versione per 1,25", 2" e 3", la ruota porta filtri motorizzata CFW si integra perfettamente al sistema FLI. Lo spessore è inferiore ai 23 mm, ciò evita qualsiasi problema di tiraggio e di vignettatura. La quota CFW può essere controllata direttamente dal software di gestione del CCD (ad esempio: MaxIm DL/CCD), oppure in modalità stand-alone mediante un apposito programma di controllo. CFW-2 può contenere fino a 8 filtri da 1,25" (per serie MaxCam)

Caratteristiche meccaniche della ruota portafiltri:

1. Diametro massimo **165 mm**
2. Raggio porzione finale **24.4 mm**
3. Lunghezza massima **203 mm**
4. Spessore (motore escluso) **20.6 mm**
5. Accoppiamento con la camera **74.42 mm**
6. Accoppiamento con il telescopio **51 mm - 24UNS - 2B thread**
7. Allungamento del fuoco **13.7 mm**
8. Peso con filtri LRGB **~ 780 g**
9. N° posizioni filtri **8**

1.10.5. il software in dotazione per le osservazioni

L'intero strumento sarà rilasciato ai partecipanti al progetto completo di software per la selezione dei target osservativi, per il puntamento e inseguimento automatico, per il sistema di guida e per la riduzione dati. Questi pacchetti software sono in parte freeware (scaricabili gratuitamente da internet) e in parte forniti in dotazione con la strumentazione di piano focale:

1. *software* di selezione target e astrometria: *Cartes du Ciel*, completamente gratuito (*freeware*) e scaricabile da internet (vedi figure sotto).
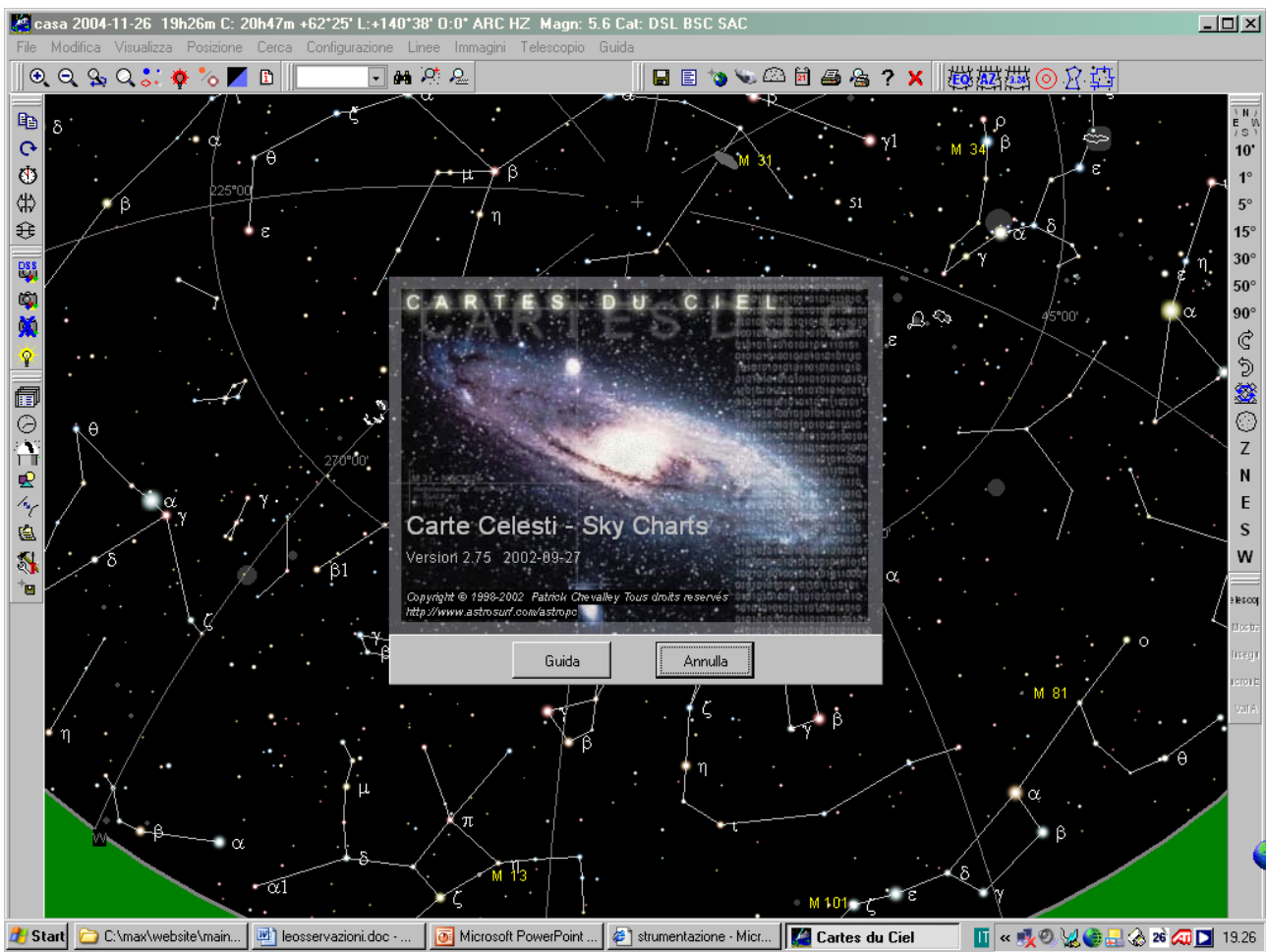
Fig. 95 – Il software freeware Cartes du Ciel per l'astrometria, mappatura cielo e puntamento automatico
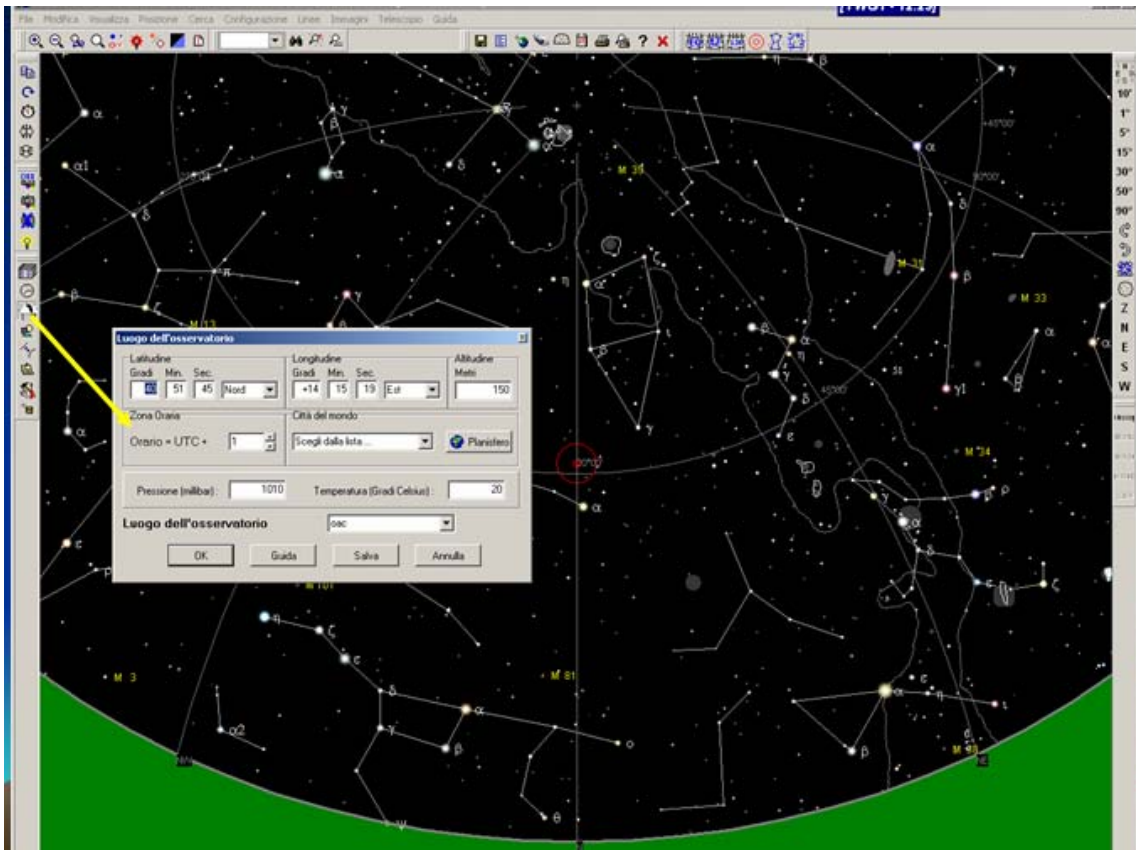
Fig. 96 – Il software freeware Cartes du Ciel: opzione per il settaggio della posizione telescopio
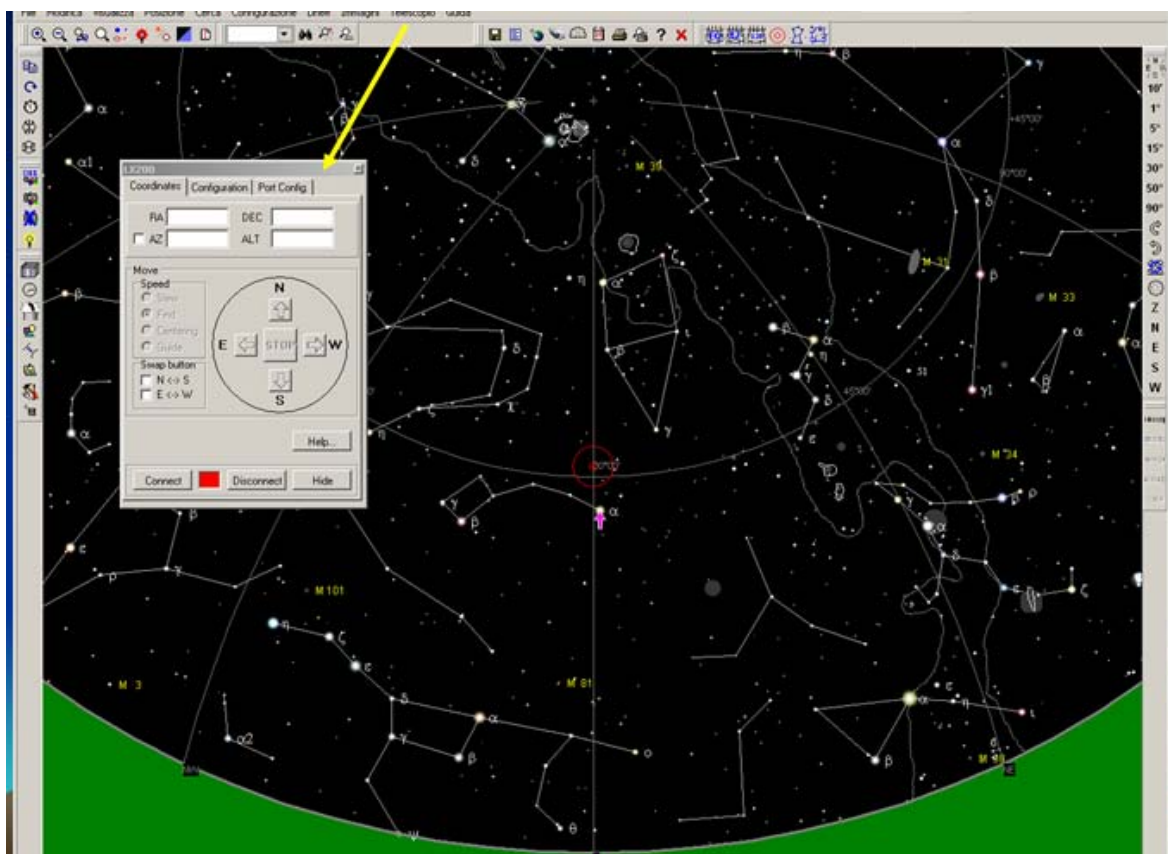
Fig. 97 – Il software freeware Cartes du Ciel: opzione per il puntamento automatico del telescopio

2. software di guida: *Startrack*, completamente gratuito e scaricabile da internet (vedi figure sotto).
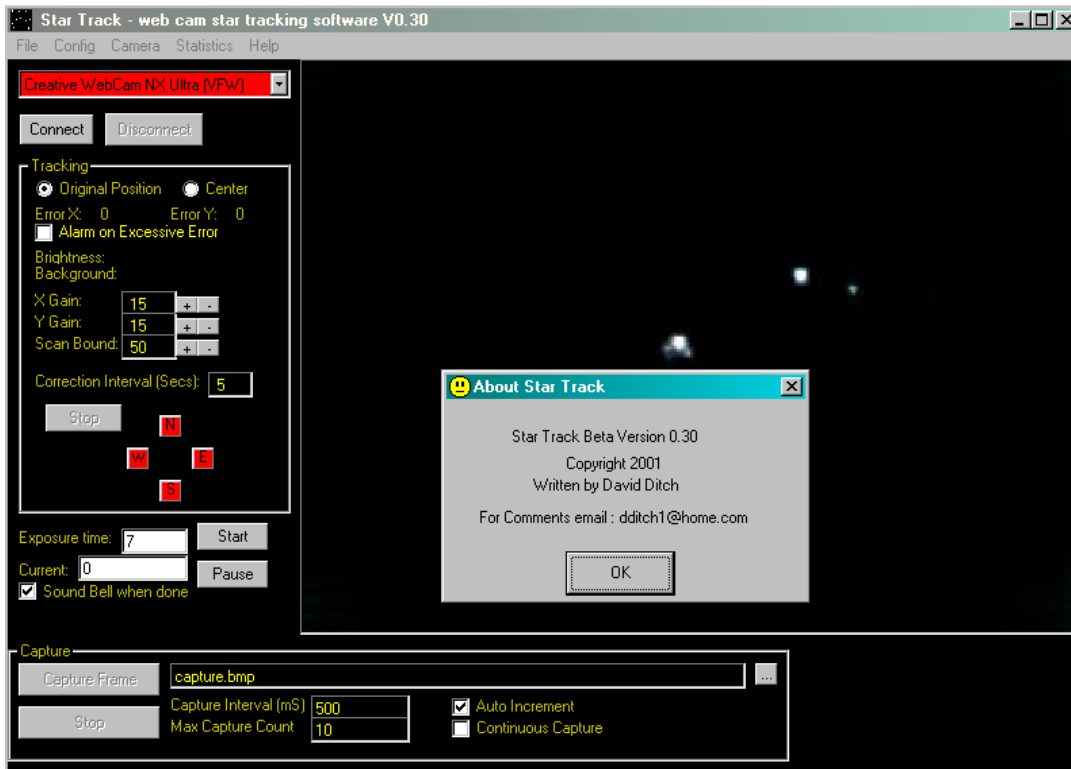
Fig. 98 – Il software di guida freeware Startrack

Fig. 99 – Il software di guida freeware Startrack: schema di utilizzo

3. software di controllo camera CCD e riduzione dati: MSB *AstroArt*, fornito con licenza d'uso a corredo dello strumento, (vedi figure sotto).
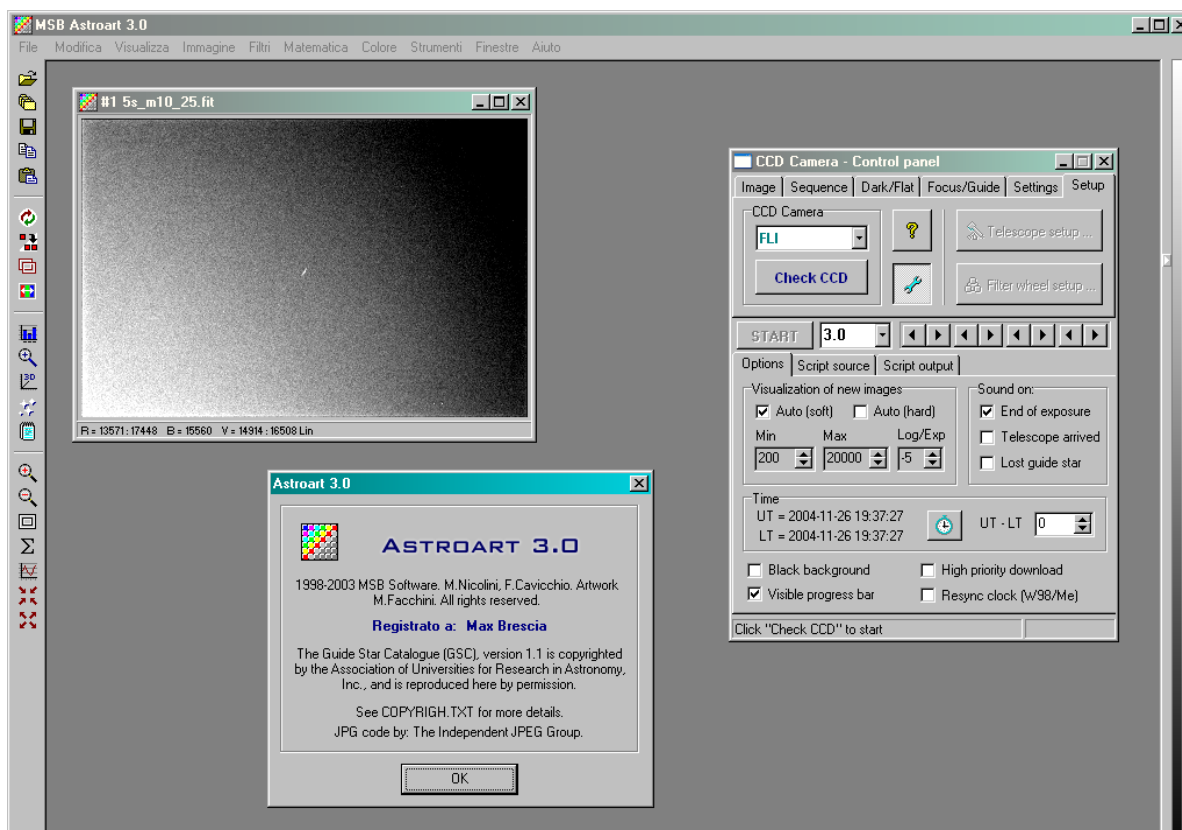
Fig. 100 – Il software di gestione camera CCD e riduzione dati

5. Conclusioni

Se il lettore, neofita di osservazioni astronomiche, sarà arrivato stoicamente a leggere questa pagina (a meno che non abbia iniziato al contrario…), avrà probabilmente deciso di occupare il tempo in altre faccende, piuttosto che impazzire dietro a specchi, montature, livelle, bussole, coordinate e stelle.

La sensazione che potrebbe aver suscitato la trattazione delle procedure di messa a punto dello strumento, potrebbe infatti condurre alla conclusione che le osservazioni astronomiche serie siano "materia per pochi eletti".
SBAGLIATO!

Come in tutte le cose, la pazienza, l'umiltà, la volontà, la costanza e soprattutto la passione sono il combustibile più efficace per mantenere in azione il motore dell'apprendimento e della conoscenza. Pochi secoli fa, il grande genio Leonardo diceva:

"***Quelli che s'innamoran di pratica sanza scienza,***
son come 'l nocchiere, ch'entra in naviglio sanza
timone o bussola, che mai ha certezza dove si vada"

Dunque, armatevi di pazienza, apprendete con mente aperta e volitiva, prendete il telescopio in spalla e andate a scoprire l'ignoto. Il cielo vi aspetta!

Massimo Brescia